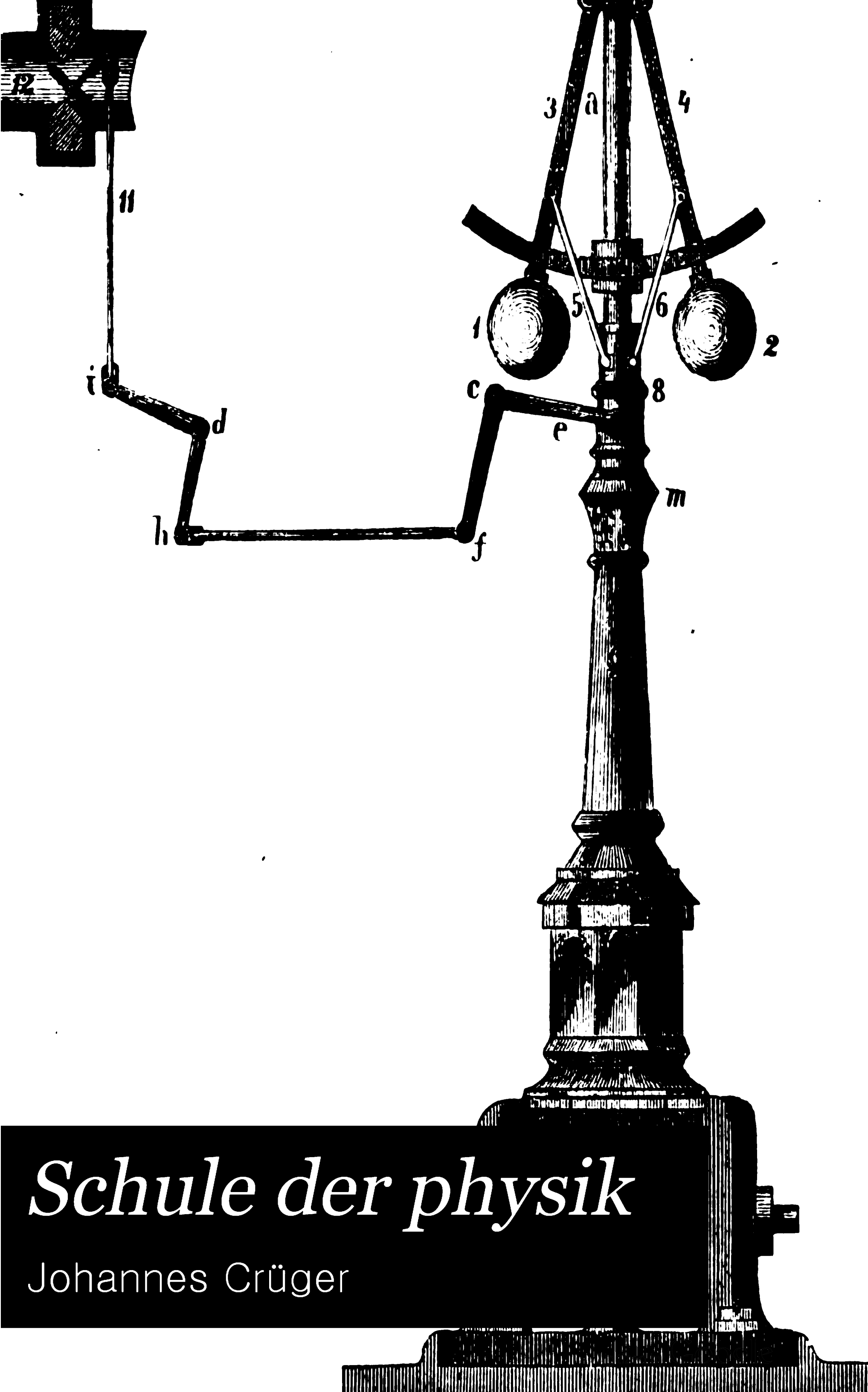
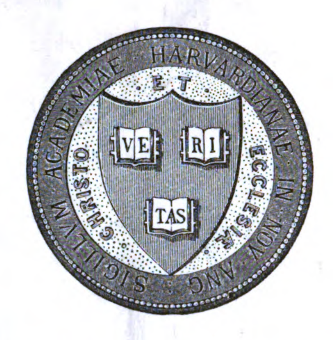
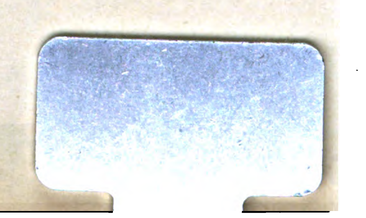


Schule der physik

Johannes Crüger


VE
RI
TAS
SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE



Schule der Physik,

eine

Anleitung zur Anstellung einfacher Versuche

und

populäre Entwickelung der wichtigsten Naturgesetze,

von

Dr. Johannes Crüger.

Zehnte, verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 495 Abbildungen.

Leipzig.
G. W. Körner's Verlag.
1877.

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Vorwort.

Die „Schule der Physik" bietet sich Allen denen als ein Hülfsmittel dar, welche sich ohne gelehrte Auseinandersetzungen und ohne den Besitz kostspieliger und zusammengesetzter Apparate von den wichtigsten und interessantesten Seiten der Naturlehre eine gründliche Kenntniß verschaffen wollen. Sie unterscheidet sich deshalb von andern Lehrbüchern der Physik sowohl in Form, als Inhalt.

Die Form der Darstellung ist erstlich eine durchaus populäre und allgemein faßliche; sie verzichtet auf mathematische Begründung und nimmt weder mathematische Formeln, noch Beweise auf. Zweitens ist die Form eine methodische. Durchweg tritt das Experiment als das unmittelbar Anschauliche in den Vordergrund; dem Experiment stellen sich sodann verwandte Erscheinungen und Beobachtungen zur Seite; und aus der Uebereinstimmung derselben wird das Gesetz abgeleitet, das sich in ihnen ausspricht, und die Naturkraft erkannt, als deren Wirkungen sie anzusehen sind. Bei der Auswahl der Experimente ist der Gesichtspunkt maßgebend gewesen, daß dieselben möglichst einfach seien und möglichst wenig Vorbereitungen nöthig machen; sie sind so ausführlich beschrieben, daß man zu ihrer Anstellung keiner anderweitigen Vorkenntnisse bedarf, und zugleich ist dafür gesorgt, daß die erforderlichen Geräthschaften nach dem am Schluß des Buches beigefügten Verzeichniß bezogen werden können.

Was den Inhalt betrifft, so ist Dasjenige hervorgehoben, was von praktischem Interesse, von Bedeutung für das Leben ist und mehrseitige Anwendung gefunden hat. Dagegen tritt Alles in den Hintergrund, was rein theoretischen Zwecken dient. Wegen ihrer praktischen Bedeutung ist die Mechanik ausführlicher und von einer einzigen Grundanschauung aus behandelt, und den wichtigsten Erscheinungen der Chemie ein besonderer Abschnitt gewidmet, in welchem unter Anderem die Gas-

beleuchtungsanstalten und die Luftballons Besprechung finden. Das Ganze besteht aus drei dem Umfange nach ziemlich gleichen Abtheilungen, von denen die erste die mechanischen Erscheinungen fester, tropfbar-flüssiger und luftförmiger Körper, die zweite die magnetischen, elektrischen und chemischen, und die letzte die Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme enthält.

Für die gegenwärtige Auflage ist das Buch von Neuem durchgesehen und durch mehrfache Ergänzungen bereichert, wie sie das Bedürfniß der Gegenwart zu erheischen schien. Die Aenderungen und Zusätze in den letzten Auflagen betreffen besonders den Foucault'schen Pendelversuch, die Fallgesetze, die Bauer'schen Taucherapparate, die pneumatische Beförderung von Depeschen, das Aneroïdbarometer, die Vibrographen, die Obertöne, die Influenz-Elektrisirmaschine, die Haus-telegraphen, die elektrischen Uhren, die dynamo-elektrische Maschine, das Kohlenlicht, die Torpedos, die Luftfahrten, den Bühnenspiegel, die Operngucker, die Krüß'sche Wundercamera, das Zoetrop, die Hygrometer, die Stürme und die Gaskraftmaschinen. Möge auch dieser neuen Auflage der Beifall zu Theil werden, den sich das Buch in den verschiedensten Kreisen erworben hat.

Neu-Ruppin, Michaelis 1876.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniß.

Dritte Abtheilung: Erscheinungen des Schalles, des Lichts und der Wärme.

Erste Abtheilung.

Mechanische Erscheinungen.

Mechanische Erscheinungen fester Körper.

§. 1. Das Loth.

Wo ein Gebäude oder auch nur eine freistehende Mauer aufgeführt wird, da sehen wir die arbeitenden Handwerker ein einfaches Werkzeug zu Hülfe nehmen, nach welchem sie beim Weiterfördern des Baues sich richten, und welches sie das Loth nennen.

Fig. 1.

Versuch a. Um ein Loth anzufertigen, nimmt man eine Metallkugel oder statt derselben einen andern nicht zu leichten Körper, etwa einen Stein, und befestigt daran das eine Ende eines Fadens. Hält man das freie Ende desselben mit der Hand, so daß die Kugel unten hängt, so beobachtet man Folgendes: Der Faden, der sonst lose und in mancherlei Windungen hinabhängen würde, wird durch die Kugel gespannt und bildet eine gerade Linie, welche die Richtung von oben nach unten hat. Wenn man auch das Loth nach einem andern Ort im Zimmer oder im Freien trägt, der Faden nimmt auch dort dieselbe Richtung an. Die Richtung des Fadens am Lothe nennt man die lothrechte, (senkrechte) oder scheitelrechte Richtung.

Versuch b. Während man den Faden des Loths mit der einen Hand festhält, hebe man mit der andern die Metallkugel empor und lasse sie darauf los. Dann nimmt man an der Kugel folgenden Vorgang oder, was dasselbe ist, folgende Erscheinung wahr: Sie verläßt den Ort, bis zu welchem sie emporgehoben war, und fällt abwärts, so weit der Faden es erlaubt. Und zwar bewegt sie sich in derselben Linie hinab, die vorher der gespannte Faden angab. Die Kugel wird nach der Erde hingezogen und zeigt das Bestreben, sich derselben zu nähern. Um der Erde so nahe als möglich zu kommen, zieht die Kugel auch den Faden straff und spannt ihn.

Aehnliche Vorgänge nehmen wir in der uns umgebenden Natur in großer Anzahl wahr. Der Stein, den der Sturmwind vom Dache losgerissen hat, fällt zur Erde nieder; ein hochgeworfener Ball kehrt zu

uns zurück; Regentropfen und Schneeflocken fallen aus den Wolken herab, und gewaltige Wassermassen stürzen sich von der Höhe eines Felsens und bilden einen Wasserfall. Früchte reißen den Zweig, an dem sie in ungewöhnlicher Menge hängen, vom Obstbaum los und fallen sammt demselben zu Boden. Das Gewicht an der Uhr sinkt, da es von dem Uhrwerk aufgehalten wird, langsam, doch immer weiter, hinab; Rouleaux und Landkarten werden durch die unten an ihnen befindlichen Holzstäbe abwärts gezogen und gespannt erhalten. Das Senkblei, ein gegen 25 Kilogramm schweres Bleigewicht an einer Schnur, die durch Stückchen von buntem Zeuge von Faden zu Faden (188 Centimeter) eingetheilt ist, sinkt, falls die Schnur lang genug ist, vom Schiffe bis auf den Boden des Meeres hinab und wird ausgeworfen, um dessen Tiefe zu ermitteln.

Aus dieser Reihe von Erscheinungen sehen wir, daß nicht etwa eine Zahl irdischer Körper sich von der Erde zu entfernen sucht, während andere sich ihr zu nähern streben, sondern daß sich an allen dieselbe Erscheinung zeigt. Wie in einem Lande Gesetze bestehen, denen alle seine Einwohner gehorchen sollen, so finden wir, daß auch in der Natur Gesetze gelten, denen die Naturkörper gehorchen und gehorchen müssen. Aus den aufgezählten Erscheinungen folgt das

Gesetz der Schwere: Alle irdischen Körper haben das Bestreben, sich der Erde zu nähern.

Man sagt deshalb von den irdischen Körpern, sie seien schwer, und nimmt eine Ursache an, die sie nach der Erde hinzieht, und die man die Schwerkraft genannt hat. Alle Theile der Erde üben zusammen eine anziehende Kraft aus; weil aber die Erde eine Kugel ist, und ihre Theile rings um den Mittelpunkt gleichmäßig vertheilt sind, äußert sie ihre Wirkung so, daß alle Körper nach dem Mittelpunkt der Erde hingezogen werden. Wo wir daher einen Körper sich vom Mittelpunkt der Erde entfernen und emporsteigen sehen, da müssen wir vermuthen, daß diese Wirkung von andern Kräften ausgeht, und suchen dieselben kennen zu lernen.

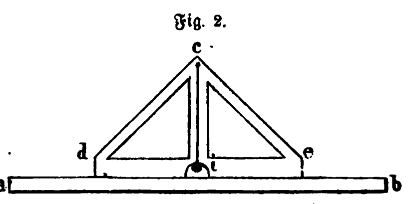
§. 2. Die Setzwage.

Versuch. Man schneide ein viereckiges Stück Papier von beliebiger Größe und kniffe es zuerst dergestalt, daß die untere Hälfte auf die obere gelegt wird. Ohne das Papier zu entfalten, kniffe man es zum zweiten Mal, so daß das Stück zur Rechten nach links umgebogen wird, und beobachte dabei die Vorsicht, daß die beiden Hälften der durch den ersten Kniff gebildeten Linie genau auf einander zu liegen kommen. Wird jetzt das Papier entfaltet, so bilden die beiden Kniffe zwei gerade Linien, die sich in der Mitte des Papiers unter rechten Winkeln durchschneiden. Das Papier werde neben dem Faden des Loths gehalten, und die nach oben führende Linie in lothrechte Richtung gebracht; dann giebt die von der Linken zur Rechten führende Linie die horizontale oder wagerechte Richtung an, dieselbe Richtung, die im Ganzen der Boden einer ebenen

Gegend, die Ebene des Horizonts, hat, und die wir dem Fußboden und der Decke eines Zimmers, der Platte eines Tisches oder einem Fensterbrette geben.

Die Setzwage. Die bauenden Handwerker bestimmen die wagerechte Richtung mittels der Setzwage. Sie besteht aus einem dreieckigen Brett, dessen untere Kante sorgfältig geglättet ist. Von der oberen Spitze des Dreiecks ist auf die untere Kante eine gerade Linie so gezogen, daß sie mit ihr rechte Winkel bildet. Diese Linie ist in das Brett eingeschnitten und stellt sich als eine vertiefte Rinne dar. Da, wo sie die untere Kante trifft, erhält das Brett einen halbkreisförmigen Ausschnitt. Oben an der Rinne wird der Faden eines Lothes befestigt, die Kugel des Lothes kann sich in dem halbkreisförmigen Ausschnitt frei bewegen und hängt etwas höher, als sich die untere Kante befindet. Beim Gebrauch wird die Setzwage auf die untere Kante gestellt; bleibt dann die Rinne in der Richtung, welche der Faden angiebt, so hat die zu prüfende Fläche, auf der die Setzwage steht, wagerechte Richtung. Weicht aber die Rinne seitwärts von dem Lothe ab, so ist auch die Richtung der Fläche, auf welche die Setzwage gestellt ist, z. B. die Tischplatte, nicht horizontal.

Fig. 2.



§. 3. Das Gewicht.

Von der Schwerkraft lothrecht abwärts gezogen, haben die Körper das Bestreben, zu fallen. Sind sie aufgehängt, so spannen sie den Faden; sie können aber auch durch andere Körper, auf denen sie liegen, verhindert werden zu fallen, und üben auf diese eine Wirkung aus, durch die sie anzeigen, daß sie von der Erde angezogen werden.

Versuch a. Legt man auf die flache Hand ein großes Buch, so fühlt man, daß die Hand einen Druck erleidet, der sie abwärts zu bewegen strebt. Nimmt man ein kleineres Buch in die Hand, so empfindet man einen kleineren Druck; man sagt dann, das zweite Buch wiege weniger, und schreibt dem ersten ein größeres Gewicht zu. Den Druck, den ein Körper auf seine Unterlage ausübt, nennt man sein Gewicht. Zugleich zeigt sich, daß das mehr wiegende Buch eine größere Menge Papier enthält und wegen dieser größeren Masse einen größeren Druck ausübt. Das Gewicht nimmt zu, wenn die Masse zunimmt.

Versuch b. Wird auf eine Schale, die von einer spiralförmig gewundenen Feder getragen wird, ein Stein gelegt, so drückt derselbe die Feder zusammen.

So drückt sich auch ein großer Stein in den lockern Boden ein; Lastwagen lassen auf der Landstraße Geleise als Spuren des durch sie ausgeübten Druckes zurück; Gebäude auf sumpfigem Boden senken sich und drücken die unter ihnen befindlichen Pfähle hinab; schwere Walzen

werden auf dem umgepflügten Acker zum Zerdrücken der Erdschollen oder auf ausgebesserten Chausseen zum Hineindrücken hervorragender Steine angewandt. Den *Briefbeschwerer* lassen wir Briefe zusammendrücken; *zerbrechliche Sachen* legen wir beim Einpacken nie unter schwerere, von denen sie zerdrückt werden könnten, und an *Kissen* oder *Ruhebetten* nehmen wir wahr, wie sie von darauf gelegten Gegenständen eingedrückt werden. Der *Lastträger* fühlt das Gewicht seiner Bürde, und mancher Handelsmann pflegt vorläufig das Gewicht der zu kaufenden Waare ungefähr abzuschätzen, indem er auf den Druck achtet, den sie auf seine Hand äußert.

Fig. 3.

Wenn wir das Gewicht eines Körpers *genauer bestimmen* wollen, bedienen wir uns einer *Wage* und sehen zu, wie viel Metallstücke von bekanntem Gewicht eben dieselbe Wirkung hervorbringen, wie der Druck des zu wägenden Körpers. Als Wage kann außer der gewöhnlichen Wage **eine Federwage** (oder ein *Dynamometer*) dienen. Die Federwage kann folgende Einrichtung haben. An einem Ringe a hängt ein hohler Metallcylinder C; in demselben befindet sich eine spiralförmig gewundene Stahlfeder, die einen Stab mv lose umschließt. Das untere Ende der Feder stützt sich auf den unteren Boden des Cylinders; der obere Theil der Feder trägt eine kreisförmige Scheibe n, an die der bewegliche Stab mv befestigt ist. Der Stab reicht durch eine Oeffnung in dem untern Boden des Cylinders hindurch und wird nur von der Feder getragen. Hängt man unten an den Stab mittels des Hakens u einen Körper, so zieht sein Gewicht den Stab abwärts und drückt die Feder zusammen. Drückt ein in u angehängtes Kilogrammstück die Feder in demselben Maße zusammen, so beträgt das Gewicht des Körpers ein Kilogramm. Um den Raum wahrzunehmen, den die Feder ausfüllt, ist aus der Vorderwand des Cylinders der Länge nach ein Streifen ausgeschnitten, und in diesem Ausschnitt kann sich ein wagerechter Zeiger bewegen, der oben an den Stab mv befestigt ist. Auf der Außenseite des Cylinders bringt man eine Eintheilung an; an den Punkt, wo der Zeiger bei unbelasteter Wage steht, schreibt man Null. Dann hängt man ein Kilogramm an den Haken u und schreibt an den Punkt, auf dem der Zeiger jetzt steht, eine 1. Darauf hängt man 2 Kilogramm an den Haken und schreibt an den Punkt, auf dem der Zeiger dann steht, eine 2; indem man dies Verfahren fortsetzt, erhält man die Eintheilung an der Federwage. Steht der Zeiger, nachdem eine Waare in u angehängt worden, auf 6, so wiegt die Waare 6 Kilogramm; denn durch ihren Druck ist die Feder ebenso zusammengedrückt, wie durch den Druck von 6 Kilogramm.

Fig. 4.

Die Metallstücke von bestimmtem Gewicht, die dazu dienen, das Gewicht anderer Körper zu finden, nennen wir *Gewichte*. Bei der Festsetzung derselben hat man sich nach dem Gewicht des Wassers gerichtet.

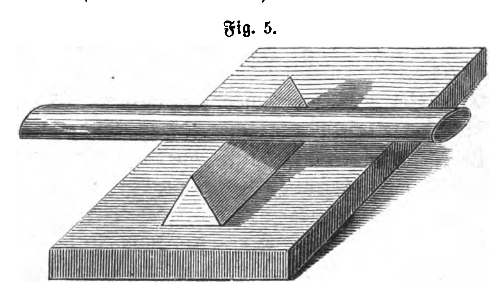
Für das Verständniß dieser Festsetzung wird die Bekanntschaft mit unseren metrischen **Maßen** vorausgesetzt. Die Grundlage des Maßes ist das Meter; ein Meter ist der zehnmillionste Theil eines Viertel-Erdmeridians. Das Meter wird in 10 Decimeter, 100 Centimeter und 1000 Millimeter eingetheilt. 1000 Meter heißen ein Kilometer. (Der frühere preußische oder rheinländische Fuß ist gleich 0,31385 Meter; ein rheinländischer Zoll ist gleich 2,615 Centimeter. Der frühere pariser Fuß ist gleich 0,324839 Meter, ein pariser Zoll 2,707 Centimeter. Die geographische Meile hat 7420 Meter.) In dem vorliegenden Buche sind für die Längenmaße folgende Abkürzungen gebraucht: M. für Meter, Dm. für Decimeter, Cm. für Centimeter, Mm. für Millimeter.

Mit den Maßen hängt die Festsetzung der **Gewichte** auf folgende Weise zusammen. Man hat ein Liter oder Kubik-Dm. mit destillirtem oder reinem Wasser gefüllt und zwar bei 3,2 Grad Wärme nach Réaumur oder 4 Grad Wärme nach Celsius (§. 353); bei dieser Wärme hat das Wasser sein größtes Gewicht oder seine größte Dichtigkeit. Das Gewicht des Liters Wasser hat man ein Kilogramm genannt. Ein Kilogramm ist somit das Gewicht eines Liters reinen Wassers bei dessen größter Dichtigkeit. Das Kilogramm wird in 10 Hektogramm, das Hektogramm in 10 Dekagramm oder Neuloth, das Dekagramm in 10 Gramm getheilt. Das Kilogramm hat 1000 Gramm; ein Gramm ist daher der tausendste Theil von dem Gewichte eines Liters reinen Wassers bei dessen größter Dichtigkeit. Ein Liter oder Kubik-Dm. faßt 1000 Kubik-Cm.; ein Gramm ist somit das Gewicht eines Kubik-Cm. reinen Wassers bei dessen größter Dichtigkeit; ein Kubik-Cm. ist ein Würfel, dessen Kante ein Cm. lang ist. Ein halbes Kilogramm heißt ein Pfund; 100 Pfund machen einen Centner aus. Der zehnte Theil eines Grammes heißt ein Decigramm, der hundertste ein Centigramm, der tausendste ein Milligramm. In dem vorliegenden Buche ist für Kilogramm die Abkürzung „Klgr.", und für Gramm die Abkürzung „Gr." gebraucht.

§. 4. Der Schwerpunkt.

Versuche a. Ein dreikantiges Holzklötzchen werde auf den Tisch gelegt, so daß eine Kante sich oben befindet. Nun nehme man einen Stab und lege ihn quer über die Kante. Das eine Ende des Stabes wird hinabsinken und sich auf den Tisch stützen; es ist durch die Schwerkraft abwärts bewegt und muß folglich mehr Gewichtstheile enthalten, als das kürzere Ende. Nun schiebe man den Stab so lange auf der Kante

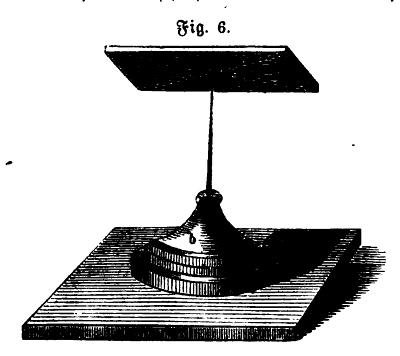
Fig. 5.



hin und her, bis er horizontal schwebt. Er wird jetzt in einem einzigen Punkte unterstützt und getragen; rechts liegen eben so viel Gewichtstheile wie links; die eine Hälfte hält der andern das Gleichgewicht, und die Schwerkraft vermag den Stab nach keiner Seite abwärts zu bewegen. Man könnte den Stab auch auf einen Bleistift oder quer über einen Finger legen. — Ferner lege man einen Stab oder ein Lineal auf einen viereckigen Tisch und schiebe es so weit über dessen eine Kante hinaus, daß es noch horizontal liegt, aber bei der leisesten Berührung hinabfallen würde. Dann liegt über der Kante des Tisches der Punkt des Lineals, zu dessen beiden Seiten seine Theile einander das Gleichgewicht halten.

Versuch b. Durch einen Kork oder ein Holzstückchen wird in lothrechter Richtung eine Stecknadel geschoben, ihre Spitze ragt oben hervor, und ihr Knopf sei in den Kork hineingedrückt. Der Kork wird auf die Tischplatte gestellt und soll fest stehen. Hat man nun mehrere Stücke Papier von beliebiger Gestalt zur Hand, so versuche man, sie dergestalt auf die Nadelspitze zu legen, daß sie darauf liegen bleiben und nicht herunterfallen. Bei einem Octavblatte wird dies leicht gelingen. Das Papier ist dann in einem einzigen Punkte unterstützt, seine rechte Seite hält der linken, die dem Beobachter zugewandte der von ihm abgewandten das Gleichgewicht. Auf ähnlichem Wege läßt sich in jedem festen Körper ein Punkt finden, um welchen alle Theile des Körpers einander das Gleichgewicht halten. Dieser Punkt heißt der Schwerpunkt. Die Schwerkraft vermag den Körper nicht zu bewegen, so lange der Schwerpunkt unterstützt ist. Der Schwerpunkt ist daher der Punkt eines Körpers, bei dessen Unterstützung derselbe durch die Schwerkraft nicht bewegt werden kann. Schiebt man aber das auf der Spitze ruhende Papier seitwärts, so hört es auf, auf der Spitze zu ruhen; der Schwerpunkt ist nicht mehr unterstützt; die Seite, auf welcher er liegt, hat mehr Gewichtstheile, erlangt das Uebergewicht, und das Papier fällt hinab.

Fig. 6.



§. 5. Die Lage des Schwerpunktes.

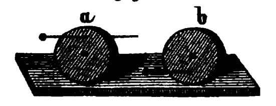
Bei Körpern von regelmäßiger Gestalt, welche durchweg aus einer und derselben Masse bestehen, ist leicht zu bestimmen, wo ihr Schwerpunkt liegt. Der Schwerpunkt einer geraden Linie oder solcher Körper, bei denen vorzugsweise die Länge in Betracht kommt, z. B. eines Drahtes, liegt in der Mitte ihrer Länge. Bringt man auf einer Tragspitze (§. 4. b.) eine kreisrunde Scheibe von Papier oder Pappe ins Gleichgewicht, so wird der Punkt, auf dem sie ruht, ihr Schwerpunkt, im Mittelpunkte

des Kreises liegen. Denken wir uns eine Menge gleich großer Kreisscheiben auf einander gelegt, so daß stets der Mittelpunkt der einen Scheibe lothrecht über dem Schwerpunkt der vorhergehenden liegt, dann bilden die Scheiben zusammen einen Cylinder oder eine Walze; die lothrechte Linie, die durch ihre Schwerpunkte geht, heißt die Axe des Cylinders. Sein Schwerpunkt muß in der Axe liegen, weil die Schwerpunkte aller Kreisscheiben darin liegen, und zwar in der Mitte der Axe; denn nur hier wird der Cylinder, wenn wir ihn über eine Schneide gelegt denken, im Gleichgewicht sein. Bei einem Quadrate oder regelmäßigen Viereck finden wir beim Auflegen auf eine Spitze, daß der Schwerpunkt gleich weit von allen vier Ecken entfernt ist. Denken wir uns viele solcher Vierecke auf einander geschichtet und den Schwerpunkt eines jeden immer auf den des vorhergehenden gelegt, so entsteht eine viereckige Säule; ihr Schwerpunkt liegt mitten in ihrer Axe, das heißt, mitten in der Linie, die lothrecht durch die Schwerpunkte sämmtlicher Vierecke geht. Der Schwerpunkt einer Kugel liegt in ihrem Mittelpunkt, weil ihre Theile rings um denselben gleichmäßig vertheilt sind und einander das Gleichgewicht halten. Der Schwerpunkt regelmäßiger Körper liegt also in der Mitte derselben.

§. 6. Die verschiedenen Arten des Gleichgewichts.

Versuch a. Mit einem Federmesser schneide man von einem gut abgerundeten Kork eine runde, ungefähr 8 Mm. dicke Scheibe ab und schiebe quer durch sie, nahe dem Rande, eine große Stecknadel oder ein Stück Draht. Der Schwerpunkt der Scheibe liegt jetzt nicht mehr in ihrem Mittelpunkt, sondern in der Nähe der Nadel. Man stelle nun die Scheibe mit ihrer gekrümmten Fläche so auf die Tischplatte, daß die Nadel sich oben befindet, und die Scheibe gleichwohl nicht umfällt. Der Schwerpunkt liegt alsdann lothrecht über dem Unterstützungspunkte, dem Punkte des Tisches, auf den sich die Scheibe stützt; er hat die höchste Stelle, die er einnehmen kann, und muß bei der geringsten Bewegung der Scheibe fallen. Berührt man daher die Scheibe nur leise mit dem Finger, so kehrt sie nicht wieder in ihre Lage zurück, sondern rollend ändert sie dieselbe gänzlich, und die Nadel sammt dem Schwerpunkt nimmt die möglichst tiefe Stelle ein. So läßt sich auch ein Ei oder eine Citrone auf einem ihrer stark gekrümmten Enden ins Gleichgewicht bringen; allein das Gleichgewicht ist wegen der hohen Lage des Schwerpunktes dermaßen unsicher, daß sie beim geringsten Stoß von der Seite her ihre Lage verläßt und nicht wieder dahin zurückkehrt. Ein Körper befindet sich in unsicherem oder labilem Gleichgewicht, wenn er so unterstützt ist, daß sein Schwerpunkt bei eintretender Bewegung eine tiefere Lage annehmen kann.

Fig. 7.



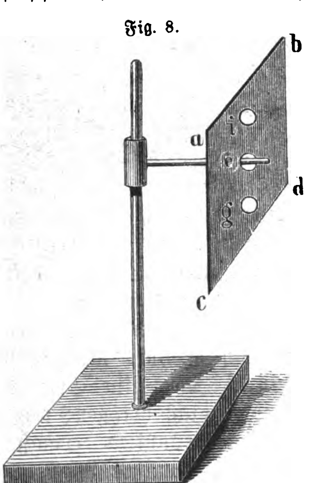
Versuch b. Man stelle die Scheibe mit ihrer runden Fläche so auf

den Tisch, daß die Nadel und der Schwerpunkt die möglichst tiefe Stelle einnehmen. Stößt man nun oben gegen die runde Fläche, so bewirkt man, daß der Schwerpunkt sich nach oben bewegt oder steigt. Aber von der Schwerkraft der Erde angezogen, sucht er in seine frühere Stellung zurückzukehren, und die Scheibe schwankt so lange hin und her, bis der Schwerpunkt wieder seine tiefste Lage eingenommen hat. Dieselbe Erscheinung nehmen wir bei Wiegen und Wiegenpferden, bei einer Mulde und einem Wiegemesser wahr. Da diese in einem oder in zwei Punkten unterstützten Körper nicht leicht umfallen, ist ihr Gleichgewicht ein sicheres. Ein Körper befindet sich in sicherem oder stabilem Gleichgewicht, wenn er so unterstützt ist, daß bei eintretender Bewegung sein Schwerpunkt emporsteigen muß.

Versuch c. Nimmt man die Nadel aus der Korkscheibe, so liegt deren Schwerpunkt in ihrer Mitte. Mit der runden Kante auf eine vollkommen wagerechte Tischplatte gestellt, bleibt sie in jeder Stellung ruhend und im Gleichgewicht. Wird sie von der Seite her angestoßen, so rollt sie, soweit der Stoß sie treibt, ist aber gleichgültig oder indifferent gegen ihre frühere Stellung und kehrt nicht in dieselbe zurück. Ihr Schwerpunkt kann auf der horizontalen Platte weder steigen noch fallen, sondern bewegt sich in einer horizontalen Linie. Kugeln und Cylinder, z. B. ein liegender Bleistift, befinden sich deshalb auf einer wagerechten Fläche im indifferenten Gleichgewicht.

Versuch d. Dieselben Versuche stelle man mit einem Quadrat aus Pappe an, das von einem horizontalen Draht getragen wird. Es ist in dem Schwerpunkt e, darüber in i und darunter in g durchbohrt. Wird es in dem Punkte i über den Draht geschoben, so ist es in sicherem Gleichgewicht; in g über den Draht geschoben, befindet es sich in unsicherem Gleichgewicht; im Schwerpunkte e aufgehängt, ist das Stück Pappe in indifferentem Gleichgewicht.

Fig. 8.



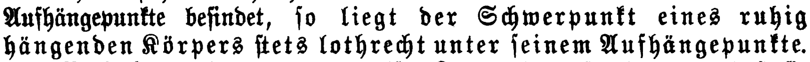
Einem Wagenrade kann man, wenn beim Schmieren die Axe emporgehoben ist, jede beliebige Lage geben, ohne daß es in seine frühere Stellung zurückkehrt. Weil das Rad in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, kann auf keiner Seite ein Uebergewicht vorhanden sein, und der Schwerpunkt kann weder steigen, noch fallen. Aehnlich ist auch jedes Mühlrad, jede Rolle, jeder Schleifstein im Schwerpunkt unterstützt und deshalb im indifferenten Gleichgewicht. An den Zugbrücken wird die aufziehbare Brückenbahn sammt den wagerecht daran befestigten, meist in der Verlängerung der Bahn unter der Brücke angebrachten Balken um ihren gemeinsamen Schwerpunkt gedreht und kann deshalb in jeder Lage

stehen bleiben. Jeder um eine Axe drehbare Körper ist in indifferentem Gleichgewicht, wenn die Axe durch seinen Schwerpunkt geht. Läge der Schwerpunkt seitwärts von der Axe, so würde derselbe abwärts sinken und den Körper zur Unzeit bewegen; nach mehreren Schwankungen würde sich der Körper ins sichere Gleichgewicht begeben, und beim Umdrehen würde unnöthige Kraft erfordert werden, ihn wieder daraus zu entfernen.

§. 7. Unterstützung des Schwerpunktes durch Aufhängen.

Die Unterstützung eines Körpers kann drei verschiedene Lagen zu seinem Schwerpunkte haben; sie kann im Schwerpunkt, über dem Schwerpunkt oder unter dem Schwerpunkt angebracht sein. Bei Weitem die meisten Körper sind nicht durch eine Axe im Schwerpunkt unterstützt; sondern sie haben ihren Unterstützungspunkt über dem Schwerpunkt und hängen, oder sie sind unter dem Schwerpunkt unterstützt, in welchem Falle sie stehen oder liegen.

Fig. 9.



Versuch a. An einem Faden hängt eine Kugel oder eine runde Pappscheibe, der Faden ist durch eine Stelle nahe dem Rande der Scheibe gezogen. Wird sie von der Seite her angestoßen, so wird ihr Schwerpunkt in die Höhe bewegt. Deshalb kehrt sie nach mehreren Schwingungen in ihre frühere Ruhelage zurück und zeigt uns dadurch, daß an einem Faden hängende Körper in sicherem Gleichgewichte sind. Wie ferner der Schwerpunkt der Scheibe sich in lothrechter Linie unter dem Aufhängepunkte befindet, so liegt der Schwerpunkt eines ruhig hängenden Körpers stets lothrecht unter seinem Aufhängepunkte.

Versuch b. Es giebt eine Weise, Körper so aufzuhängen, daß sie zu stehen scheinen. Man biege einen 5 Dm. langen Draht, wie in Fig. 10. (Eisen-, Messing- und Kupferdraht wird dadurch biegsamer gemacht, daß man ihn ausglüht. Man streckt ihn gerade, indem man ihn auf einem Amboß oder auf einem liegenden vierkantigen Eisenstück, das 2 Cm. hoch, ebenso breit und 10 Cm. lang ist, hämmert und dabei wiederholt umdreht. Zum Biegen des Drahtes bedient man sich einer Drahtzange und einer Flachzange.) Der Schwerpunkt des gebogenen Drahtes liegt in der Mitte m. Wird nun das obere Ende auf die Ecke eines Tisches gestellt, so liegt der Schwerpunkt des Ganzen im Zustande der Ruhe unter dem Unterstützungspunkte. Die Vorrichtung hängt also, obwohl sie auf einer Spitze unsicher zu stehen scheint; sie befindet sich in sicherem Gleichgewicht und macht, wenn sie angestoßen wird,

hin- und hergehende Bewegungen, gleich einem andern hängenden Körper. Bei den auf diese Weise eingerichteten Spielwerken, den Sägemännern,

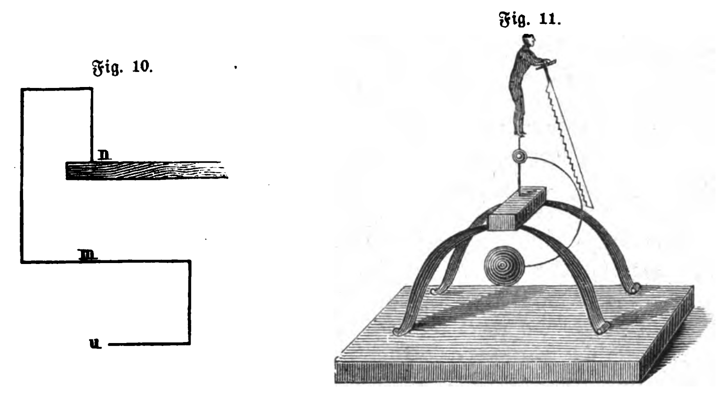


Fig. 10. Fig. 11.

den galoppirenden Pferden und der Vogelscheuche, befindet sich unten an dem gebogenen Drahte eine schwere Kugel, und die auf der Nadelspitze stehende Figur ist von geringem Gewicht, so daß der Schwerpunkt des Spielwerks nahe bei der Kugel zu suchen ist.

§. 8. Unterstützung des Schwerpunktes beim Balanciren.

Den Gegensatz zu den hängenden Körpern bilden solche, die wir auf einer Spitze zu balanciren oder im Gleichgewicht zu erhalten suchen. Auch sie sind nur in einem Punkte unterstützt; aber ihr Unterstützungspunkt muß lothrecht unter ihrem Schwerpunkt liegen; ihr Gleichgewicht ist unsicher, und ihr Fallen kann in der Regel nur durch Bewegungen verhindert werden.

Die Kunst, Gegenstände auf der Hand zu balanciren, besteht darin, daß man den Unterstützungspunkt, die Fingerspitze, dahin bewegt, wohin der balancirte Körper fallen will, und sich sein Schwerpunkt neigt.

Fig. 12.

Versuch. Versucht man, einen lothrecht stehenden Regenschirm auf der Fingerspitze im Gleichgewicht zu erhalten, so muß man, sobald er sich nach der rechten Seite neigt, den unterstützenden Finger auch nach rechts bewegen, damit er wieder lothrecht unter des Schirmes Schwerpunkt kommt. Am leichtesten lassen sich schwerere Körper mit hochliegendem Schwerpunkt balanciren. Denn bei Gegenständen von größerem Gewicht fühlt es die Hand leichter, ob sie noch das ganze Gewicht zu tragen, oder ob der Schwerpunkt sich nach einer Seite geneigt hat. Liegt der Schwerpunkt hoch, so muß er einen größeren Weg durchlaufen, um zu fallen, und gebraucht dazu mehr Zeit, welche man leicht benutzen kann, um die unterstützende Hand unterzuschieben. Der Schwerpunkt eines Degens liegt nahe bei seinem Griff und durchläuft bei einer Neigung nach der Seite den oberen Bogen; läge,

bei umgekehrter Stellung des Degens, der Schwerpunkt weiter nach unten, so hätte er nur einen sehr kleinen Weg zu machen, um die Gefahr des Fallens in demselben Maße herbeizuführen.

§. 9. Sichere Unterstützung durch eine Fläche.

Von den meisten Gegenständen, deren Schwerpunkt über der Unterstützung liegt, verlangt man, daß sie feststehen, daß sie den gewöhnlichen Umdrehungsursachen widerstehen und ihre Stellung durch ihr Gewicht behaupten. Zu diesem Zwecke werden sie in mehreren Punkten unterstützt, mindestens in dreien, die nicht in einer geraden Linie liegen. So hat ein runder Tisch drei Unterstützungspunkte, da, wo seine drei Füße den Boden berühren. Ein Wagen ist meistens in vier Punkten unterstützt, in denen seine Räder auf der Erde ruhen. Denkt man sich diese vier Punkte des Erdbodens durch gerade Linien verbunden, so schließen dieselben eine viereckige Fläche ein. Die von den Verbindungslinien der Unterstützungspunkte umgrenzte wagerechte Fläche heißt die Unterstützungsfläche eines Körpers. Häufig finden wir sogar, daß der Körper von einer vollständigen Fläche getragen wird, wie eine runde Säule ihr Fußgestell in einer runden Fläche berührt, eine Kiste oder ein Ofen mit allen Punkten ihrer unteren Fläche auf ihrer Unterstützung ruhen, und bei Gebäuden das Fundament die unterstützende Fläche umschließt.

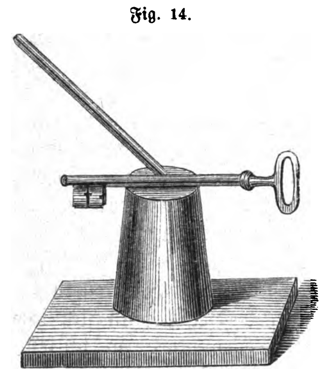
Versuch a. Man stelle ein Buch oder einen viereckigen Kasten oder ein vierkantiges Lineal auf den Tisch und halte ein Loth so, daß sein Faden neben dem Schwerpunkt des aufgestellten Körpers vorbeigeht. Es wird sich ergeben, daß der Schwerpunkt sich lothrecht über einem Punkt der unterstützenden Fläche befindet. Darauf neige man den aufgestellten Körper immer mehr nach der andern Seite, bis er umzufallen beginnt. In dieser Stellung halte man wieder den Faden des Lothes dicht neben dem Schwerpunkt des fallenden Körpers. Der Schwerpunkt wird nicht mehr lothrecht über irgend einer Stelle der Unterstützungsfläche liegen. Jeder Körper bleibt so lange ruhig stehen, als sein Schwerpunkt lothrecht über seiner Unterstützungsfläche liegt.

Fig. 13.

Versuch b. Ein Bleistift stehe lothrecht auf der Tischplatte, seine kreisförmige Unterstützungsfläche ist klein, und, nur wenig zur Seite geneigt, muß er umfallen. Schiebt man dagegen das untere seiner Enden lothrecht in einen Kork, so wird der Stand des Bleistifts weit fester sein. Es gehört mehr Kraft dazu, ihn zum Umfallen zu bringen, man muß ihn weiter auf die Seite neigen. Es sind aber mit dem aufgestellten Körper zwei Veränderungen vorgenommen; erstlich ist die Unterstützungsfläche vergrößert. Zweitens zeigt sich, wenn man nach §. 4. a. auf der Tischkante den Bleistift nebst fest sitzendem Kork ins

Gleichgewicht bringt, daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt jetzt tiefer oder der Mitte der Unterstützungsfläche näher liegt. Ein Buch liegt deshalb auf einer seiner breiten Flächen unvergleichlich sicherer, als wenn es aufrecht steht, weil sein Schwerpunkt viel tiefer liegt und dabei zugleich nach allen Seiten in wagerechter Richtung weiter vom Rande der Unterstützungsfläche entfernt ist.

Fig. 14.



Versuch c. Der Bleistift werde sehr schräg in den Kork gesteckt; auf den Tisch gestellt, wird das Ganze umfallen; es erlangt aber sogleich einen vollkommen sichern Stand, sobald man noch einen Schlüssel auf den Kork legt. Dadurch ist der Schwerpunkt des Ganzen, der sich in dem Schlüssel lothrecht über der Unterstützungsfläche befindet, noch weiter nach unten gerückt, und das Gewicht vermehrt.

Somit ergiebt sich für aufgestellte Körper als

> **Gesetz über die Standfestigkeit:** Je größer das Gewicht und die Unterstützungsfläche eines Körpers ist, und je näher ihrer Mitte sein Schwerpunkt liegt, desto fester steht der Körper.

Eine umgekehrte Flasche steht darum weit weniger fest, als wenn sie auf ihrem größere Unterstützung gewährenden Boden ruht, und ihr Schwerpunkt eine tiefere Lage hat; ein gefülltes Glas ist wegen seines Gewichts schwerer umzuwerfen, als ein leeres. Die Aegypter haben ihren unverwüstlichen Bauten eine große Unterstützungsfläche, ein bedeutendes Gewicht und einen niedrig liegenden Schwerpunkt gegeben, indem sie die Form von Pyramiden und als Baumaterial schwere Quadersteine wählten. Auch die Natur richtet sich nach diesem Gesetz, indem beim Wachsen der Bäume nach derselben Seite, auf welcher sich größere Zweige bilden, und wohin sich nunmehr der Schwerpunkt des Baumes neigen würde, auch größere Wurzeln sich ausbreiten und die Unterstützungsfläche vergrößern. Damit der Schwerpunkt nicht zu hoch liege, bringt man an Reisewagen das Gepäck gern unten im Wagenkasten an, und die Ladung eines Lastwagens vertheilt man so, daß die schwersten Lasten am weitesten unten liegen. Um leeren Schiffen ihr Gleichgewicht zu sichern, vergrößert man ihr Gewicht durch eingenommenen Ballast, und um Lampen einen festen Stand zu geben, arbeitet man ihr Fußgestell aus schweren Metallmassen. — Wie der letzte Versuch lehrt, können Körper auch in schräger Stellung einen sichern Stand haben, so lange nur ihr Schwerpunkt noch über der unterstützenden Fläche liegt. Von den beiden Walzen in Fig. 15, welche gleich schräg stehen, hat die zur Linken aufgestellte noch einen sichern Stand, weil ihr Schwerpunkt unterstützt ist; dagegen muß die rechts aufgestellte Walze umfallen. Berühmt sind die schiefen

Thürme zu Pisa und Bologna. Der schiefe Thurm zu Pisa (Fig. 16), aus Marmor, mit acht über einander befindlichen Säulengängen, hat sich, wie viele Gebäude der Stadt, nach dem Wasser zu gesenkt und weicht mit seiner Spitze 3,5 M. von der lothrechten Linie ab. Zu Bologna,

Fig. 15.

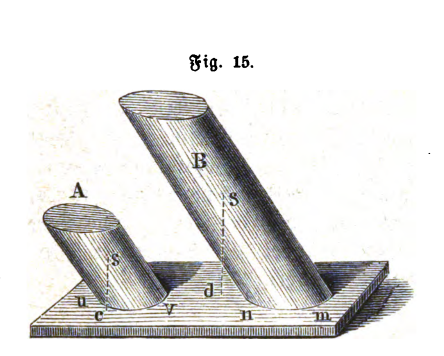
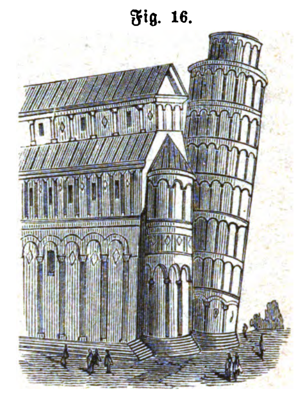


Fig. 16.



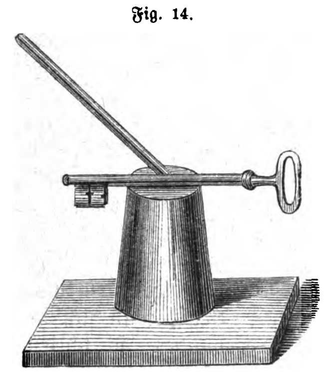
das nach der Gestalt eines Schiffes erbaut ist, hängt der Thurm, der den Mastbaum darstellt, bei größerer Höhe fast 1 M. über, während ein kleinerer Thurm daselbst 2,5 M. von der lothrechten Linie abweicht.

§. 10. Unterstützung des Schwerpunktes lebender Wesen.

Die Unterstützungsfläche eines aufrecht stehenden Menschen hat die Gestalt eines Vierecks und wird durch die beiden Füße und durch zwei Linien, von der einen Fußspitze zur andern und von der einen Ferse zur andern, begrenzt. Um recht fest zu stehen, wie beim Fechten, vergrößert man die Unterstützungsfläche, indem man die Füße von einander entfernt. Jemand, der den rechten Fuß dicht an eine Wand setzt, kann, wenn er den linken Fuß aufhebt, auf dem rechten nicht stehen bleiben; seine durch den rechten Fuß gebildete Unterstützungsfläche ist zu klein, und sein etwa in der Mitte des Unterleibes befindlicher Schwerpunkt fällt links über die Unterstützungsfläche hinaus. Hinderte es nicht die Wand, so ließe sich der Schwerpunkt nach rechts über den rechten Fuß schieben. Denn lebende Wesen können durch Bewegung der Glieder sowohl die Größe ihrer Unterstützungsfläche, als auch die Lage ihres Schwerpunktes verändern. Wer nach der linken Seite zu fallen fürchtet, schiebt durch Ausstrecken des rechten Armes den Schwerpunkt nach der rechten Seite; wer von seinem Sitze aufsteht, biegt sich entweder vornüber, um den Schwerpunkt über die Füße zu bringen, oder er zieht die Füße zurück, um sie unter den Schwerpunkt zu schieben. Lastträger halten sich vornüber, damit die Last auf dem Rücken sie nicht hintenüber ziehe; umgekehrt halten sich wohlbeleibte Personen etwas hintenüber; der Gärtner, der in der Rechten eine gefüllte Gießkanne hält, neigt sich

Gleichgewicht bringt, daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt jetzt tiefer oder der Mitte der Unterstützungsfläche näher liegt. Ein Buch liegt deshalb auf einer seiner breiten Flächen unvergleichlich sicherer, als wenn es aufrecht steht, weil sein Schwerpunkt viel tiefer liegt und dabei zugleich nach allen Seiten in wagerechter Richtung weiter vom Rande der Unterstützungsfläche entfernt ist.

Fig. 14.



Versuch c. Der Bleistift werde sehr schräg in den Kork gesteckt; auf den Tisch gestellt, wird das Ganze umfallen; es erlangt aber sogleich einen vollkommen sichern Stand, sobald man noch einen Schlüssel auf den Kork legt. Dadurch ist der Schwerpunkt des Ganzen, der sich in dem Schlüssel lothrecht über der Unterstützungsfläche befindet, noch weiter nach unten gerückt, und das Gewicht vermehrt.

Somit ergiebt sich für aufgestellte Körper als

Gesetz über die Standfestigkeit: Je größer das Gewicht und die Unterstützungsfläche eines Körpers ist, und je näher ihrer Mitte sein Schwerpunkt liegt, desto fester steht der Körper.

Eine umgekehrte Flasche steht darum weit weniger fest, als wenn sie auf ihrem größere Unterstützung gewährenden Boden ruht, und ihr Schwerpunkt eine tiefere Lage hat; ein gefülltes Glas ist wegen seines Gewichts schwerer umzuwerfen, als ein leeres. Die Aegypter haben ihren unverwüstlichen Bauten eine große Unterstützungsfläche, ein bedeutendes Gewicht und einen niedrig liegenden Schwerpunkt gegeben, indem sie die Form von Pyramiden und als Baumaterial schwere Quadersteine wählten. Auch die Natur richtet sich nach diesem Gesetz, indem beim Wachsen der Bäume nach derselben Seite, auf welcher sich größere Zweige bilden, und wohin sich nunmehr der Schwerpunkt des Baumes neigen würde, auch größere Wurzeln sich ausbreiten und die Unterstützungsfläche vergrößern. Damit der Schwerpunkt nicht zu hoch liege, bringt man an Reisewagen das Gepäck gern unten im Wagenkasten an, und die Ladung eines Lastwagens vertheilt man so, daß die schwersten Lasten am weitesten unten liegen. Um leeren Schiffen ihr Gleichgewicht zu sichern, vergrößert man ihr Gewicht durch eingenommenen Ballast, und um Lampen einen festen Stand zu geben, arbeitet man ihr Fußgestell aus schweren Metallmassen. — Wie der letzte Versuch lehrt, können Körper auch in schräger Stellung einen sichern Stand haben, so lange nur ihr Schwerpunkt noch über der unterstützenden Fläche liegt. Von den beiden Walzen in Fig. 15, welche gleich schräg stehen, hat die zur Linken aufgestellte noch einen sichern Stand, weil ihr Schwerpunkt unterstützt ist; dagegen muß die rechts aufgestellte Walze umfallen. Berühmt sind die schiefen

Thürme zu Pisa und Bologna. Der schiefe Thurm zu Pisa (Fig. 16), aus Marmor, mit acht über einander befindlichen Säulengängen, hat sich, wie viele Gebäude der Stadt, nach dem Wasser zu gesenkt und weicht mit seiner Spitze 3,5 M. von der lothrechten Linie ab. Zu Bologna,

Fig. 15.

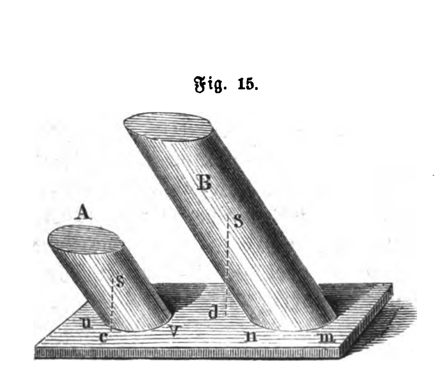
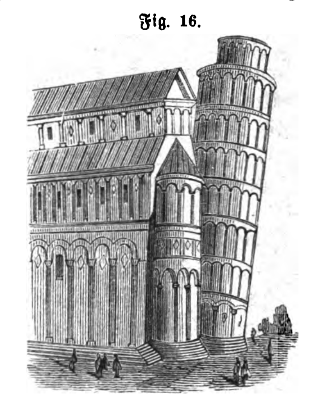


Fig. 16.



das nach der Gestalt eines Schiffes erbaut ist, hängt der Thurm, der den Mastbaum darstellt, bei größerer Höhe fast 1 M. über, während ein kleinerer Thurm daselbst 2,5 M. von der lothrechten Linie abweicht.

§. 10. Unterstützung des Schwerpunktes lebender Wesen.

Die Unterstützungsfläche eines aufrecht stehenden Menschen hat die Gestalt eines Vierecks und wird durch die beiden Füße und durch zwei Linien, von der einen Fußspitze zur andern und von der einen Ferse zur andern, begrenzt. Um recht fest zu stehen, wie beim Fechten, vergrößert man die Unterstützungsfläche, indem man die Füße von einander entfernt. Jemand, der den rechten Fuß dicht an eine Wand setzt, kann, wenn er den linken Fuß aufhebt, auf dem rechten nicht stehen bleiben; seine durch den rechten Fuß gebildete Unterstützungsfläche ist zu klein, und sein etwa in der Mitte des Unterleibes befindlicher Schwerpunkt fällt links über die Unterstützungsfläche hinaus. Hinderte es nicht die Wand, so ließe sich der Schwerpunkt nach rechts über den rechten Fuß schieben. Denn lebende Wesen können durch Bewegung der Glieder sowohl die Größe ihrer Unterstützungsfläche, als auch die Lage ihres Schwerpunktes verändern. Wer nach der linken Seite zu fallen fürchtet, schiebt durch Ausstrecken des rechten Armes den Schwerpunkt nach der rechten Seite; wer von seinem Sitze aufsteht, biegt sich entweder vornüber, um den Schwerpunkt über die Füße zu bringen, oder er zieht die Füße zurück, um sie unter den Schwerpunkt zu schieben. Lastträger halten sich vornüber, damit die Last auf dem Rücken sie nicht hintenüber ziehe; umgekehrt halten sich wohlbeleibte Personen etwas hintenüber; der Gärtner, der in der Rechten eine gefüllte Gießkanne hält, neigt sich

nach links, um seinen und der Last gemeinschaftlichen Schwerpunkt über der Unterstützungsfläche zu erhalten. Beim Gehen befindet sich der Schwerpunkt des Körpers zunächst über dem ruhenden Fuß und wird dann durch Bewegung des Oberkörpers auf den vorwärts gesetzten Fuß hinübergeschoben, sinkt dabei ein Wenig und wird durch die Fußmuskeln wieder gehoben; nachher wird der andere Fuß vorwärts gesetzt, und der Schwerpunkt auf ihn hinüber gelenkt, so daß der Schwerpunkt eine Art Zickzacklinie von rechts nach links durchläuft. Während das kleine Kind beim Gehenlernen sich im Fühlen und Unterstützen seines Schwerpunktes zu üben beginnt, erfordern die Seiltänzerkünste ein ausgebildetes, feines Gefühl vom Schwerpunkte des Körpers und eine große Geschicklichkeit, ihn stets über einer so schmalen Unterstützungsfläche zu erhalten, wie sie das Seil darbietet. Die Balancirstange, welche der Seiltänzer in den Händen hält, hat ein so großes Gewicht, daß der gemeinsame Schwerpunkt sich fast in der Mitte der Stange befindet, der Seiltänzer also den Schwerpunkt seiner Stellungen in seinen Händen hält.

Die einfachen Maschinen.

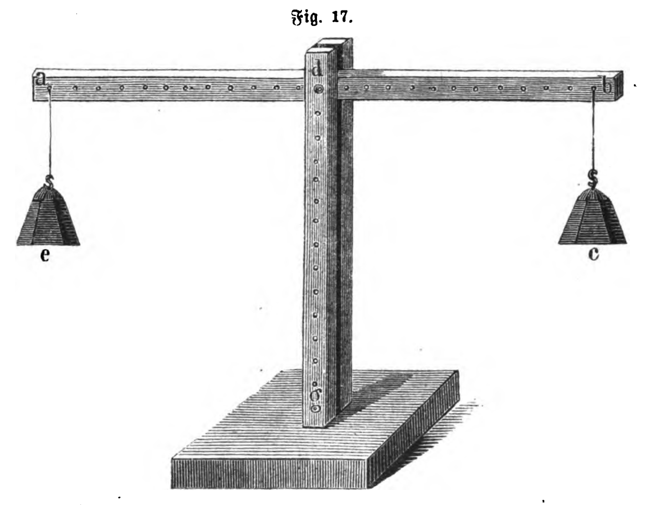
I. Der Hebel.

§. 11. Der Hebel mit zwei gleichen Armen.

Versuch. Man lasse sich vom Tischler ein 20 Cm. langes, nicht ganz so breites Brettchen von 1,5 Cm. Stärke anfertigen und ungefähr mitten darauf lothrecht zwei viereckige Säulen befestigen, die ins Gevierte 3 Cm. stark und etwas über 30 Cm. hoch sein mögen. Die eine steht gerade vor der andern und ist von ihr durch einen Zwischenraum von 4 Cm. getrennt. Nahe ihrem obern Ende werden die Säulen in horizontaler Richtung durchbohrt, durch die Bohrung soll sich ein Metallstift, etwa ein Stück einer starken Stricknadel, mit Leichtigkeit schieben und darin umdrehen lassen. Außerdem lasse man zwei ins Gevierte 3 Cm. starke Holzstangen arbeiten, die eine, die erst später (§. 19) Anwendung findet und ein ähnliches Gestell erfordert, 32 Cm. lang, die andere von 62 Cm. Länge. Die längere Holzstange wird genau in der Mitte ihrer Länge, über ihrem Schwerpunkte, durchbohrt und von der Bohrung aus mittels eines Cirkels nach beiden Seiten hin in Cm. getheilt, die man durch lothrechte Striche markirt. So eingetheilt, wird die Stange oben zwischen die Säulen gebracht und muß sich, nachdem der Metallstift hindurchgeschoben ist, mit Leichtigkeit um den Stift, der ihre Axe oder ihren Unterstützungspunkt bildet, auf- und abbewegen lassen. Da der

Schwerpunkt der Stange unter demselben liegt, kann sie, gleich einem hängenden Körper, nicht eher ruhen, als bis sich der Schwerpunkt lothrecht unter dem Unterstützungspunkte befindet, und die Stange horizontale Stellung angenommen hat. Sollte sich die Stange nach der einen Seite neigen, dann ist sie nicht genau lothrecht über dem Schwerpunkt durchbohrt; man nimmt in diesem Falle die Stange aus den Trägern heraus und schraubt an ihre Enden in ihrer Längenrichtung zwei gleiche Metallknöpfe nur ein Wenig ein. Darauf hängt man die Stange wieder in ihre Säulen und sieht, wohin sie sich jetzt neigt; jedesmal auf der

Fig. 17.



Seite, wohin sie sich senkt, wird der Knopf weiter hineingeschraubt, bis die wagerechte Stellung der Stange eintritt. Leicht kann man sich in kleinerem Maßstabe die ganze Vorrichtung aus einem Brettchen und vierkantigen Linealen herstellen, von denen man zwei als tragende Säulen aufstellt, während man ein drittes eintheilt und über seinem Schwerpunkt an einem Stifte aufhängt. — Ueber jedes Ende der Stange wird ein Faden geschoben, und unten an jeden ein leichter, aus Draht gebogener Haken gebunden. Um Gewichte an die Haken hängen zu können, schlingt man um jedes Gewichtstück einen Faden und läßt denselben oben eine feste Schleife bilden. Zwei Klgr., ein Pfund, zwei Hektogramme und ein Dekagramm werden für die folgenden Versuche nöthig und ausreichend sein.

Nun hänge man an das eine Ende der Stange, genau 30 Cm. vom Unterstützungspunkte, ein Klgr. Dasselbe wirkt als eine Last, dreht die Stange um ihren Unterstützungspunkt und bewegt ihr anderes Ende mit der Kraft von 1 Klgr. aufwärts. Will man das Gleichgewicht herstellen und die Stange in die horizontale Stellung zurückführen, so muß man das durch das eine Klgr. hinaufbewegte Ende mit der Kraft von einem Klgr. herabziehen. Hängt man deshalb auch an dies Ende, ebenfalls genau 30 Cm. vom Unterstützungspunkte, ein Klgr., so wird

dadurch die horizontale Stellung hergestellt, und die angebrachte Kraft hält der Last das Gleichgewicht.

Eine um einen festen Punkt drehbare Stange heißt ein Hebel. Wie an der Holzstange unseres Versuchs, wirken an jedem Hebel zwei Kräfte und suchen ihn nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen; die eine derselben ist häufig eine Last, die empor gehoben werden soll, während die andere, durch welche man die Last zu heben sucht, ohne weiteren Zusatz die Kraft genannt wird. Last und Kraft wirken auf Stellen unseres Hebels, die 30 Cm. vom Unterstützungspunkt oder Drehungspunkt entfernt sind; ihre Angriffspunkte haben diese Entfernung vom Unterstützungspunkte. Der Theil eines Hebels zwischen seinem Drehungspunkte und dem Angriffspunkte einer Last oder Kraft heißt ein Arm des Hebels. Der vorher angewandte Hebel hat zwei Arme; der Hebelarm der Kraft lag auf der einen, der Hebelarm der Last auf der entgegengesetzten Seite vom Drehungspunkte. Beide Hebelarme sind gleich lang; denn Last und Kraft greifen beide 30 Cm. vom Drehungspunkte entfernt an. Die gebrauchte Vorrichtung ist mithin ein Hebel mit zwei gleichen Armen.

Versuch. Man schiebe ferner die beiden Klgr. dem Drehungspunkte näher, so daß jedes 20 und nachher 10 Cm., aber stets beide gleich weit vom Drehungspunkte entfernt sind; so erhält man kürzere gleicharmige Hebel, die stets im Gleichgewicht sind, weil die Last der Kraft gleich ist. Endlich nehme man andere Gewichte, die beiden Hektogramme, und lasse sie an gleich langen Armen wirken. Es ergiebt sich dabei für den gleicharmigen Hebel als

Gesetz: Der gleicharmige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft der Last gleich ist.

Soll dagegen der Hebel nicht ruhen, sondern soll die Last bewegt und emporgehoben werden, so muß die Kraft etwas größer sein, wie man leicht sehen kann, wenn man oben an der Hebelvorrichtung auf den Angriffspunkt der Kraft noch einen Schlüssel legt.

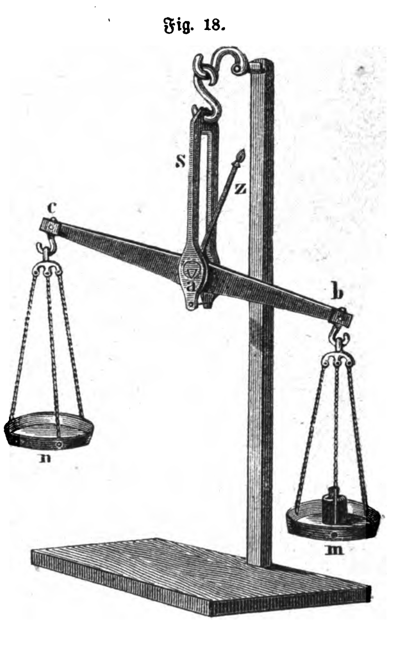
Niemand wird daher, um eine Last zu heben, einen gleicharmigen Hebel zu Hülfe nehmen, weil er mit dem Hebel noch mehr Körperkraft aufwenden müßte, als ohne denselben. Dagegen wird der gleicharmige Hebel, weil er durch seine Gleichgewichtsstellung anzeigt, ob eine Last einer bekannten Kraft gleich ist, gebraucht, um das Gewicht einer Last zu messen, und führt dann den Namen der gleicharmigen Wage.

§. 12. Die gleicharmige Wage.

Der Hauptbestandtheil der gleicharmigen Wage ist ein gleicharmiger Hebel, der bei feineren Wagen aus Messing oder Stahl, bei größeren aus Eisen gearbeitet ist und der Wagebalken genannt wird. Oben auf dem Wagebalken ist in der Mitte seiner Länge die Zunge angeschraubt, ein dünner Metallstab, der lothrechte Stellung annimmt, wenn der Wagebalken horizontal steht, und dazu dient, auszusprechen, ob dies der Fall ist.

Lothrecht unter der Zunge ist quer durch den Wagebalken eine stählerne Axe getrieben; sie ist nach unten geschärft und bildet eine Schneide, damit der Wagebalken nur in einer schmalen Linie unterstützt sei und große Beweglichkeit besitze. Nahe den Enden des Balkens befinden sich die beiden Aufhängepunkte für die an Schnüren, Ketten oder Metallstangen hängenden Wageschalen; bei den im Handel gebräuchlichen Wagen sind die Aufhängepunkte runde Axen, um welche sich Ringe mit unten daran befindlichen Haken leicht hin und her bewegen können; an Wagen, die zu wissenschaftlichen Untersuchungen bestimmt sind, sind diese Axen geschärft und bilden nach oben Schneiden, auf denen die Ringe mit den Haken hängen. Es gilt als Vorschrift, daß die beiden Aufhängepunkte und die Schneide der mittleren Axe in einer geraden Linie liegen sollen, was man leicht mit einem dünnen Faden prüfen kann, den man an beide Aufhängepunkte hält und spannt. Der ganze Wagebalken schwebt mit seiner Axe in dem untern Theil der Scheere und zwar in den runden Bohrungen oder Pfannen derselben; zugleich hat die Scheere, die an einem von der Hand gehaltenen Ringe hängt, die Bestimmung, die lothrechte Richtung anzugeben, nach der man die Stellung der Zunge beurtheilt. Schwebt die Zunge genau in der Mitte der Scheere, so hat jene lothrechte und der Wagebalken wagerechte Stellung. Die Gestalt, die man dem Wagebalken giebt, richtet sich nach folgenden Forderungen, die an eine gute Wage gestellt werden:

Fig. 18.

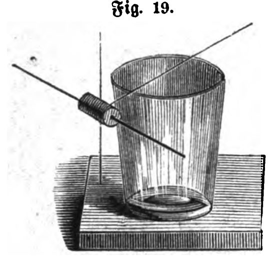


I. Das Gleichgewicht jeder Wage muß ein sicheres sein.

Versuch a. Man verschaffe sich drei Stricknadeln. Die eine schiebe man in einen nicht zu großen Kork bis fast in die Mitte desselben. Indem man die Nadel hält, befinde sich der Kork auf der uns zugewandten Seite, während das freie Ende der Nadel von uns abgewandt ist; bei dieser Haltung schiebe man die zweite Stricknadel von rechts nach links genau durch die Mitte des Korks, so daß von ihr auf beiden Seiten gleiche Stücke hervorragen. Die Vorrichtung wird über die Kante einer Tischplatte oder über ein Trinkglas gelegt oder durch die Bohrungen unserer Hebelvorrichtung geschoben; die erste Nadel ruht darauf, steht in der Nähe des Korks nur wenig von ihrer Unterstützung vor und bildet die Axe, um welche sich die zweite Nadel, wie ein Wagebalken, frei be-

wegen kann. Die dritte Nadel werde durchgebrochen, und ihre eine Hälfte in der Lage, welche die Zunge der Wage haben müßte, lothrecht durch den Kork gesteckt, doch mit der Abweichung, daß ihre eine Hälfte über demselben, die andere darunter hervorragt. Liegt nun der gemeinsame Schwerpunkt des Wagebalkens und seiner Zunge genau in der Verlängerung der Axe, um die er sich dreht, so müßte der Balken nach §. 6. c. sich im indifferenten Gleichgewicht befinden und auch in schräger Lage zur Ruhe kommen. Ein kleines Korkstückchen, das man auf den rechten Arm des Wagebalkens schiebt, wird dann bewirken, daß der Schwerpunkt des Ganzen in wagerechter Linie nach rechts rückt, und, weil er im Zustande der Ruhe unter den Unterstützungspunkt fallen muß, daß der Wagebalken sich bei dem geringsten Uebergewicht lothrecht stellt. Eine solche Wage würde unbrauchbar sein.

Fig. 19.



Versuch b. Nachdem das Uebergewicht abgenommen ist, schiebt man ein Korkstück oben auf die Zunge und führt dadurch die Erscheinungen herbei, die eintreten, wenn der Verfertiger einer Wage die Axe des Balkens unter dem Schwerpunkt angebracht hat. Der Schwerpunkt liegt über dem Unterstützungspunkt, es tritt das unsichere Gleichgewicht ein; der Balken schlägt bei dem geringsten Uebergewicht völlig um und kehrt seine obere Seite nach unten.

Versuch c. Nichts Anderes bleibt übrig, als in unserer Vorrichtung die Zunge weiter hinabzuschieben, unten daran einen Kork zu befestigen und dadurch den Schwerpunkt des Wagebalkens mehr abwärts, lothrecht unter die unterstützende Axe zu verlegen. Dann wird das sichere Gleichgewicht eintreten, und der unbelastete Wagebalken wird nach seinen Schwankungen stets wieder in die horizontale Lage zurückkehren. Der Schwerpunkt eines Wagebalkens muß also lothrecht unter seiner Axe liegen. Beim Ankauf einer Wage muß man daher zusehen, ob auch der Balken, nachdem man die Wageschalen abgenommen, in die horizontale Gleichgewichtsstellung gelangt. — Welche Wirkung wird an einem solchen Balken durch ein Uebergewicht hervorgebracht? Um dies zu erfahren, werde an das rechte Ende der schwebenden Stricknadel ein kleines Korkstückchen befestigt. Oben rechts ist eine neue Last hinzugekommen, ihr und des Balkens gemeinsamer Schwerpunkt ist nicht mehr unter der Axe zu suchen, sondern in einer Stelle des Wagebalkens weiter nach rechts oben. Der rechte Arm des Wagebalkens bewegt sich deswegen nach links unten, um den neuen, durch das Uebergewicht hervorgebrachten Schwerpunkt unter die Axe zu bringen, und nach einigen Schwankungen zeigt er das Uebergewicht durch eine schräge Stellung an.

II. Eine gute Wage muß empfindlich sein; das heißt, schon bei einem geringen Uebergewicht auf der einen Seite muß die Zunge von der lothrechten Richtung abweichen und einen Ausschlag geben.

Versuch d. Um zu erforschen, wodurch man die Empfindlichkeit einer Wage vermehrt, schieben wir die Zunge in unserer Vorrichtung so weit abwärts, daß sie oben nicht mehr durch den Kork hervorragt, und befestigen unten an sie einen Kork. Darauf nehmen wir ein Papierstückchen und wählen es so klein und leicht, daß, wenn es geknifft über den Wagebalken gehängt ist, derselbe sich kaum bewegt und sich in der Ruhe horizontal stellt. Wir haben durch das Hinabdrücken der Zunge den Schwerpunkt des Balkens weit nach unten verlegt und haben ihn dadurch für das Uebergewicht des Papierstückchens unempfindlich gemacht. Zugleich ist noch eine andere Erscheinung zu beobachten; zufällig oder absichtlich angestoßen, wird der Wagebalken, ehe er völlig in sein Gleichgewicht zurückgegangen ist, sich immer nur wenig, aber schnell auf und ab bewegen, kleine schnelle Schwingungen machen.

Dagegen werde die Zunge weiter nach oben geschoben, und zwar so weit als möglich, ohne daß der Wagebalken umschlägt; hängt man jetzt dasselbe Papierstückchen, das vorhin keinen Ausschlag zu Wege brachte, über den Balken, so wird ein beträchtlicher Ausschlag die große Empfindlichkeit der Wage kundgeben, und wenn es abgenommen worden, wird der Balken sehr langsame weite Schwingungen machen und erst nach längerer Zeit zur Ruhe kommen. Je höher also der Schwerpunkt eines Wagebalkens unter seiner Axe liegt, desto empfindlicher ist die Wage. Unsere Vorrichtung stellt einen Wagebalken dar, dem wir durch Verschieben seines Schwerpunktes jeden Grad von Empfindlichkeit geben können, und der in Ermangelung einer guten Wage beim Abwägen unter Wasser wenigstens bei einem Versuche (§. 86) gute Dienste leisten wird. Außerdem suchen die Verfertiger die Empfindlichkeit feiner Wagen noch dadurch zu erhöhen, daß sie den Balken möglichst lang und bei hinreichender Festigkeit doch möglichst leicht arbeiten. Die feinsten Wagen geben bei 1 Klgr. Belastung noch einen Ausschlag, wenn auch das Uebergewicht nur 1 Milligr., also den millionsten Theil der gesammten Belastung beträgt. Beim Ankauf einer gewöhnlichen Wage kann man deren Empfindlichkeit ungefähr nach der Dauer ihrer Schwingungen beurtheilen, oder man legt in beide Schalen so viel gleiche Gewichte, als die Wage soll aushalten können, und sieht zu, ein wie großes Gewicht man noch auf der einen Seite hinzufügen muß, damit die Wage das Uebergewicht deutlich anzeige, wobei sie indessen nicht umschlagen darf.

III. Vor allen Dingen muß die Wage richtig sein. Dazu wird erfordert, daß ihre Arme, die Entfernungen der Aufhängepunkte von der Axe, genau gleich lang, und die Wageschalen gleich schwer sind.

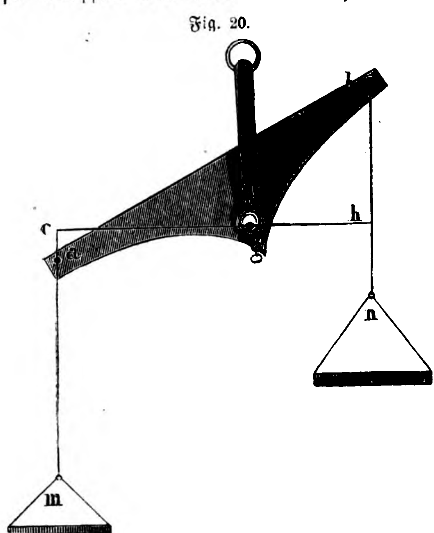
Versuch e. Will man die Richtigkeit einer Wage untersuchen, die ohne Belastung horizontale Stellung angenommen hat, so lege man, falls man damit noch 1 Pfund schwere Gegenstände soll wägen können, in die eine Schale 1 Pfund und tarire dasselbe, d. h. man stelle das Gleichgewicht her, indem man in die andere Schale Schrotkörner, Nägel, Sand, Papierschnitzel oder ähnliche Tarirgewichte bringt. Sodann nimmt man

beide Schalen sammt den darin befindlichen Lasten ab und hängt die von der rechten genommene Schale auf die linke Seite des Wagebalkens, und umgekehrt. Tritt nach dieser Vertauschung, wenn die Schwingungen aufgehört haben, nicht wieder das Gleichgewicht ein, sondern erfolgt ein Ausschlag, so ist die Wage unrichtig, und der sich senkende Arm ist länger, als der andere. Wird hingegen durch die Vertauschung das Gleichgewicht nicht gestört, so ist das ein Beweis von der Richtigkeit der Wage.

Versuch f. Eine unrichtige Wage, mag sie nun ursprünglich gar nicht richtig gewesen, oder mag sie es dadurch geworden sein, daß durch zu große Belastung der Wagebalken gebogen ist, ist nicht ganz unbrauchbar, falls sie hinreichende Empfindlichkeit hat. Nur muß man beim Wägen anders verfahren. Man legt die zu wägende Last in die eine Schale und thut in die andere beliebige Tarirgewichte, bis der Wagebalken vollkommen horizontal steht. An dieser unrichtigen Wage hält dann die Last den aufgelegten Tarirgewichten das Gleichgewicht, obschon sie entweder mehr oder weniger wiegt. Nun nimmt man die Last ganz von der Wage weg und legt an ihre Stelle bekannte Gewichtstücke, bis der Wagebalken wieder horizontal steht. Da auch die zuletzt aufgelegten Gewichtstücke jenen Tarirgewichten das Gleichgewicht halten, wie es die Last selber gethan hat, so geben die Gewichtstücke an, wie groß das Gewicht der Last ist. Bei sehr genauen Wägungen wird fast immer dies Verfahren der doppelten Wägung angewandt, damit auch kleinere Unrichtigkeiten der Wage nicht Ursache eines leicht zu vermeidenden Fehlers werden.

Soll eine Wage die für den Handel erforderliche Richtigkeit haben, so müssen die mittlere Schneide und die Aufhängepunkte der Schalen in einer geraden Linie liegen. Eine Wage, bei der dies nicht der Fall ist, macht nur bei wagerechter Stellung des Wagebalkens richtige Angaben. agb sei ein Wagebalken, an dem die Aufhängepunkte a und b höher liegen, als der Unterstützungspunkt g des Wagebalkens. Hat der Wagebalken eine schräge Stellung, so greifen Last und Gewicht in den Richtungen am und bn unter schiefen, nicht unter rechten Winkeln an den Wagebalken. Die Wirkung ist dieselbe, als ob die Last m an dem Hebelarm gc, und das Gewicht an dem Hebelarm gh hinge. Die zu wägende Last m hat daher einen zu langen Hebel-

Fig. 20.

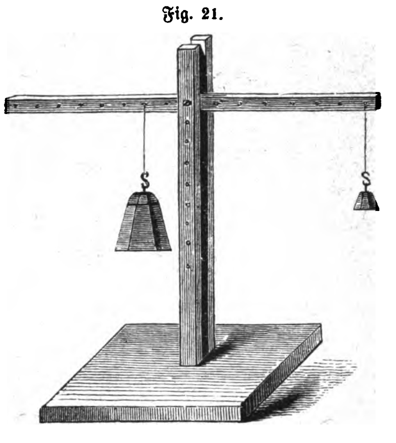


arm. Legt der Verkäufer die zu wägende Waare m mit einem solchen Stoß auf die Wageschale, daß der Wagebalken sich schräg stellt, so hat das Gewicht in n einen kleineren Hebelarm. Die Waare in m scheint das Uebergewicht zu haben, während sie in Wirklichkeit entweder eben so viel oder gar weniger wiegt, als das Gewicht in n, das wegen der Kürze seines Hebelarms hg nicht im Stande ist, dem Hebelarm die richtige Stellung zu geben.

§. 13. Der Hebel mit zwei ungleichen Armen.

Versuche a. An den linken Arm der Hebelvorrichtung (§. 11) hänge man ein Klgr. 2 Cm. weit von der Axe des Hebels, und an den Hebelarm zur Rechten ein Hektogramm. Hängt dasselbe ebenfalls an einem 2 Cm. langen Hebelarm, so gewinnt die Last von einem Klgr. das Uebergewicht. Man schiebe das Hektogramm immer weiter nach rechts, von der Axe weg, bis sich der Hebel wagerecht stellt. Das Gleichgewicht wird eintreten, sobald das Hektogramm an einem 20 Cm. langen Arme wirkt, und somit der Hebelarm der Kraft zehnmal so groß ist, als der Hebelarm der zehnmal so großen Last. Ebenso wird Gleichgewicht erfolgen, wenn man 1 Klgr. an einem 5 Cm. langen Arm und 1 Pfund an einem Arm von 10 Cm. Länge wirken läßt. In allen diesen Fällen kommen an diesem Hebel ungleiche Arme zur Anwendung; die Kraft ist nur ein Theil der Last, und ebenso oft ist der Hebelarm der Last in dem der Kraft enthalten. Eine Kraft an einem zehnmal so langen Arme hält eine zehnfache Last, an einem hundertmal so langen Arme eine hundertfache Last im Gleichgewicht.

Fig. 21.



Versuch b. 40 Gr. mögen an einem 3 Cm. langen Arm wirken; wo ist eine Kraft von 30 Gr. anzubringen, damit sie der Last von 40 Gr. an dem 3 Cm. langen Arme das Gleichgewicht halte? Wir denken uns die 40 Gr. zuerst an einem Hebelarm von einem Cm. Länge, wo sie offenbar 40 Mal so stark wirken, als ein Gr. an derselben Stelle; werden sie nun an einen dreimal so langen Hebelarm gehängt, so wird ihre Wirkung verdreifacht und gleich der Wirkung von $3 \times 40 = 120$ Gr. an einem 1 Cm. langen Hebelarm. Soll eine Kraft dieser Last das Gleichgewicht halten, so muß sie an einer solchen Stelle angebracht werden, daß sie der Wirkung von 120 Gr. an einem Arm von 1 Cm. das Gleichgewicht halten würde. Die uns zu Gebote stehende Kraft beträgt aber nur 30 Gr.; an einem gleichen Hebelarm würde sie,

da sie von 120 Gr. nur den vierten Theil ausmacht, nur dem vierten Theil der Last das Gleichgewicht halten. Deshalb muß sie an einem 4 Cm. langen Hebelarm angebracht, und dadurch ihre Wirkung vervierfacht werden, so daß sie 120 Gr. an einem Hebelarme von 1 Cm. oder die Last von 40 Gr. an einem Arme von 3 Cm. im Gleichgewicht hält.

Um die Wirkung einer Kraft oder Last am Hebel zu beurtheilen, sieht man zu, einem wie großen, an einem Hebelarm von 1 Dm. oder 1 Cm. hängenden Gewichte jede von beiden das Gleichgewicht halten würde. Sind diese beiden Gewichte für die Kraft und für die Last gleich groß, dann halten sie sich das Gleichgewicht. Die Größe jener Gewichte (120 Gr.) wird aber leicht erhalten, indem man die Kraft von 30 Gr. mit 4, der Zahl, welche die Länge des Hebelarms in Cm. angiebt, multiplicirt; ebenso drückt das Product, 40 Gr. mal 3, aus Last und Hebellänge, das gleiche Gewicht für die Last aus. Dies Product einer Kraft mit ihrem Hebelarm heißt das (statische) Moment der Kraft. Eine Kraft von 8 Pfund an einem 5 Dm. langen Hebelarm hat das Moment $5 \times 8 = 40$ Pfund; wirkte an demselben Hebel eine Last von 5 Klgr. an einem Arm von 40 Cm., so müßten Last und Hebellänge zuerst auf dieselben Maße, die bei der Kraft gebraucht sind, zurückgeführt und durch 10 Pfund und 4 Dm. bezeichnet werden; das Moment der Last wäre $4 \times 10 = 40$ Pfund. Beide Momente sind gleich, und der Hebel ist im Gleichgewicht. Vom ungleicharmigen Hebel gilt also das

Gesetz: Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

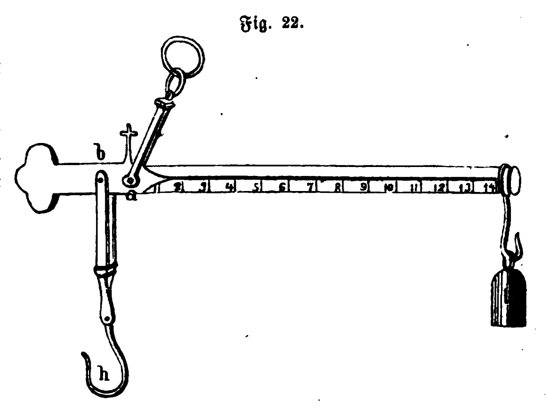
Auf Grund dieses Gesetzes wird der Hebel mit zwei ungleichen Armen sowohl als Wage, als auch zu mechanischen Arbeiten angewandt.

§. 14. Die Schnellwage.

Versuche. Die bisher gebrauchte Hebelvorrichtung bietet Gelegenheit, um kennen zu lernen, wie große Bequemlichkeit der ungleicharmige Hebel da, wo es nicht auf große Genauigkeit ankommt, beim Wägen gewährt. Man hänge einen 10 bis 100 Gr. schweren Gegenstand, den man wägen will, mittels eines um ihn geschlungenen Fadens an einem 10 Cm. langen Arm auf und bringe an dem andern Arm 1 Dekagramm an. Muß man dies Gewicht auf den ersten Centimeterstrich schieben, um das Gleichgewicht herzustellen, so bringt die Last erst an einem 10 Mal so langen Hebelarm dieselbe Wirkung hervor, wiegt also an einem Hebelarme von 1 Cm., wie das Gewicht an einem solchen hängt, den zehnten Theil = 1 Gr. Muß man die 10 Gr., ohne daß der Aufhängepunkt der Last verändert wird, auf den zweiten Centimeterstrich schieben, so wiegt die Last zwei Gr., und so giebt stets, ohne daß man ein anderes Gewicht nimmt, die Zahl der Cm. an, wie viel Gr. die Last wiegt.

Die Schnellwage. Die Schnellwage ist ein ungleicharmiger Hebel, an dessen kürzerem Arm die Last hängt, während der längere in gleiche Theile getheilt ist und ein verschiebbares Gewicht, das Laufgewicht, trägt. Bei der einfachsten Einrichtung ist der kürzere Hebelarm so schwer gearbeitet, daß er dem längeren das Gleichgewicht hält, wenn das Laufgewicht abgenommen ist. Es hänge dagegen in h oder b eine Last, und die Wage sei im Gleichgewicht, wenn das ein Klgr. schwere Laufgewicht dieselbe Entfernung von der Axe der Wage hat, wie die Last in h; dann wirkt die Schnellwage als gleicharmige Wage, und die Last ist mit dem Klgr. gleich schwer. Folglich hat man auf dem längeren Arme ein Cm. von der Axe den ersten Theilstrich anzubringen und die Zahl 1, die 1 Cm. und 1 Klgr. bedeutet, aufzutragen. Hängt das Laufgewicht 2 Cm., also doppelt so weit, als die Last, beim Gleichgewicht von der Axe entfernt, so wiegt die Last 2 Klgr. Der längere Hebelarm ist deshalb ganz in Cm. zu theilen, und dieselben Zahlen, welche die Cm. angeben, bezeichnen, wie viel Klgr. die Waare wiegt, die an den Haken der Wage gehängt ist.

Fig. 22.



§. 15. Mechanische Arbeiten.

Der ungleicharmige Hebel dient nicht bloß zum Wägen, sondern wird auch als einfache Maschine bei Ausführung mechanischer Arbeiten gebraucht. So schiebt ein Handarbeiter einen Hebebaum unter eine Last, die er mit seinen Händen allein nicht zu heben vermag; als Unterstützung des Hebels wählt er einen harten Stein, der eine Kante nach oben wendet, und schiebt diesen so nahe, als möglich, an die Last, damit seine Hände an einem recht langen Hebelarm wirken und dadurch bei mäßiger Kraftäußerung ein großes Moment erlangen; er drückt den längeren Hebelarm nieder und bewegt dadurch die Last aufwärts. Auf diese Weise hat er eine höchst einfache mechanische Arbeit vollbracht. Er hat bei derselben etwas mehr Kraft geäußert, als zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich war, und zwar so lange Zeit, als seine arbeitenden Hände gebrauchen, um den nöthigen Weg von oben nach unten zu durchlaufen.

So hat auch ein Lastträger, der Waaren in einen Speicher hinaufschafft, bei seiner mechanischen Arbeit den Druck der Waarenballen auszuhalten, und zwar auf dem ganzen Wege, den er aufsteigend zurücklegt.

Pferde, die ein Fuhrwerk ziehen, besiegen eine ihnen entgegenwirkende Kraft, welche den Wagen zum Stillstehen zu bringen sucht, und zwar auf der ganzen Strecke, die sie durchlaufen. Wenn der Zimmermann seine schwere Säge auf einen Balken setzt, so sinken ihre Zähne etwas in das Holz ein, die zwischen den Zähnen befindlichen Theile des Holzes halten noch zusammen und setzen der Bewegung der Säge einen Widerstand, eine widerstrebende Kraft entgegen; diesen überwindet der Arbeiter längs des ganzen Weges, durch den er die Säge zieht. Eben dasselbe ist der Fall bei den Arbeiten des Tischlers, wenn er hobelt oder polirt und dabei einen Druck ausübt, beim Schlosser, wenn er seine Feile gebraucht, beim Gärtner, wenn er ein Stück Land umgräbt, und nicht minder beim Schnitter, wenn er mit der Schärfe seiner Sense die gereiften Saaten von den Wurzeln trennt, an denen sie festhalten. Sogar die Finger der Schneider vollbringen ihre Arbeit nicht anders, als indem sie den Widerstand, den das Zeug der eindringenden Nadel entgegensetzt, besiegen, und durchlaufen bei dieser Kraftäußerung den Weg längs der Naht, die sie anfertigen. Sonach besteht jede mechanische Arbeit darin, daß auf einem durchlaufenen Wege eine Last getragen oder ein Widerstand überwunden wird.

§. 16. Das Maß für mechanische Arbeiten.

Die Klempner haben täglich Blechstücke von verschiedener Breite durchzuschneiden; unter dem von dem Handwerker ausgeübten Drucke macht seine Metallscheere den Weg quer durch das Blech; ist der von ihr das eine Mal zurückgelegte Weg 10, ein anderes Mal 30 Cm., so ist die mechanische Arbeit, die das breitere Blech verursacht, dreimal so groß, als die an dem schmäleren geleistete. Haben zwei Gärtner zwei einander ganz ähnliche Gartenbeete zu gleicher Tiefe umgegraben, von denen das eine doppelt so lang ist, als das andere, dann hat der eine Gärtner doppelt so viel geleistet, als der andere, und sein Spaten hat auch einen doppelt so langen Weg durchlaufen. Um einen Balken von doppelter Breite durchzusägen, läßt der Zimmermann jeden wirkenden Zahn der Säge den doppelten Weg durchlaufen, und seine Arbeit ist die doppelte. Die mechanische Arbeit nimmt folglich ebenso zu, wie der von dem Angriffspunkte der Kraft durchlaufene Weg.

Nehmen wir dagegen an, neben einem Handlanger, der jedes Mal acht Mauersteine holte, stiege ein Kind die Treppe hinauf, das jedes Mal einen Stein mitbrächte, so leistete der Handlanger offenbar achtmal so viel, als das Kind. Der von beiden zurückgelegte Weg ist ganz gleich; aber die Kraft, die der Erwachsene aufwenden muß, um den Druck von acht Steinen zu überwinden, ist die achtfache von der des Kindes. Die mechanische Arbeit nimmt also auch ebenso zu, wie die Größe der gehobenen Last oder des überwundenen Widerstandes, oder wie der Kraftaufwand, der dazu nöthig ist. Gesetzt, ein Buchbinder habe ein Stück Pappe durchzuschneiden und müsse dabei auf sein Messer einen

bestimmten Druck, der sich nach Gr. messen läßt, ausüben, damit es beim einmaligen Durchlaufen des Weges die Masse durchschneide; ein anderes Stück Pappe dagegen sei dreimal so dick, so erfordert das Durchschneiden desselben, weil dreimal so viel übereinander liegende Theilchen zu trennen, somit ein dreifacher Widerstand zu überwinden ist, die dreifache Arbeit, die sich auf zweifache Weise leisten läßt: entweder das Messer macht unter demselben Druck, wie vorhin, den Weg dreimal, oder es macht den Weg zwar nur einmal, aber unter dreifachem Drucke. Ganz dasselbe läßt sich leicht auf Tagarbeiter anwenden, die einen Graben von bestimmter Tiefe und Länge zu machen oder einen Erdwall von bestimmter Höhe aufzuwerfen haben.

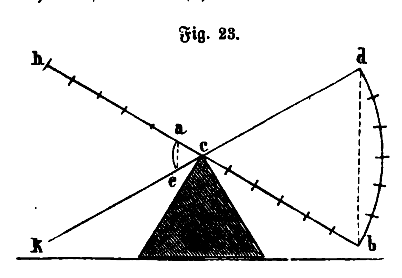
Wir sehen Lastträger mehrere Scheffel Getreide in einen 3 M. hoch gelegenen Speicher schaffen. Der Eine trägt alle Mal 3 Scheffel und vollendet zweimal seinen Weg; im Ganzen ist seine Arbeit sechsmal so groß, als wenn er nur den Druck eines Scheffels auf einmaligem Wege überwunden hätte. Ein Zweiter trage immer nur 2 Scheffel, gehe aber dreimal; auch seine mechanische Arbeit ist sechsmal so groß, als wenn er den Weg mit 1 Scheffel Last einmal zurückgelegt hätte. Wir haben hier die Arbeiten beider Lastträger verglichen und gemessen; indem wir Last oder Widerstand (I. 3 Scheffel, II. 2 Scheffel) mit der Anzahl der durchlaufenen Wege (I. zweimal, II. dreimal) multiplicirten und sie sechsmal so groß fanden, als die Arbeit bei einfacher Last und einmaligem Wege. Eine mechanische Arbeit wird gemessen durch das Product des überwundenen Widerstandes mit dem zurückgelegten Wege.

Nun giebt es keine einfachere Arbeit, als eine Last in lothrechter Richtung emporzuheben; dabei wird Last oder Widerstand nach Klgr. und der durchlaufene lothrechte Weg nach M. gemessen; die Größe der Arbeit erhält man folglich, wenn man die Zahl der gehobenen Klgr. mit der Zahl der durchlaufenen M. multiplicirt. Um sich kurz auszudrücken, nennt man die Arbeit, die erfordert wird, um ein Klgr. lothrecht ein M. hoch zu heben, ein Kilogrammeter oder Meterkilogramm (Klgr.-M. oder M.-Klgr.). Wie groß fällt somit die mechanische Arbeit jener Lastträger aus? Nehmen wir den Scheffel des fortgeschafften Getreides zu 35 Klgr. an, so beträgt die Last des Ersten $3 \times 35 = 105$ Klgr.; sie sind in einen 3 M. hohen Speicher gehoben, dadurch wird die Arbeit dreimal so groß, als wenn sie nur auf eine Höhe von einem M. geschafft wären $= 315$ Klgr.-M.; diese Arbeit ist zweimal geleistet $=$ 630 Klgr.-M., d. h. gleich der Arbeit, die erforderlich ist, um 630 Klgr. lothrecht ein M. hoch zu heben. Die Gesammtarbeit des zweiten Lastträgers ist, da seine Last $2 \times 35 = 70$ Klgr., die einmalige Arbeit 210 Klgr.-M. beträgt und dreimal geleistet ist, $210 \times 3 = 630$ Klgr.-M., wie die des Ersten. Ueber die Pferdekraft siehe §. 46.

§. 17. Die goldene Regel der Mechanik.

Versuch. An den einen 5 · Cm. langen Arm der Hebelvorrichtung ca (§. 13) befestige man mittels eines Fadens 1 Klgr.; es sinkt und ruht auf dem Tische. Drückt man nun mit der Hand den anderen, 30 Cm. langen Hebelarm cb nieder, so ist durch Anwendung des Hebels an Kraft gespart, und man braucht nur einen wenig über $^1/_6$ Klgr. betragenden Druck anzuwenden. Nun halte man einen Maßstab an den längeren Arm, bewege diesen 6 Cm. abwärts und messe, indem man ihn festhält, wie hoch man die Last gehoben hat; sie ist 1 Cm. hoch gehoben und hat demnach nur den sechsten Theil des Weges durchlaufen, den die Kraft zurückgelegt hat. So viel also durch den Hebel an Kraft gespart ist, so viel hat man am Wege eingebüßt. Dieselbe Erscheinung zeigt sich bei jeder Größe der Kraft und der Last, und nicht bloß beim Hebel, sondern wir werden sie bei allen einfachen Maschinen kennen lernen. Deshalb gilt als

Fig. 23.



> **Goldene Regel der Mechanik:** So viel durch eine Maschine an Kraft gewonnen wird, so viel geht am Wege verloren.

Ist die zu hebende Last hundert Mal so groß, als die Kraft, so bewegt die Maschine sie nur durch 0,01 des Weges, den die Kraft durchläuft.

Die mechanische Arbeit der Kraft, wenn letztere nur $^1/_6$ Klgr. beträgt, ist, bei ihrem Wege von $^6/_{100}$ M., gleich $^6/_{100} \times {}^1/_6 = {}^1/_{100}$ Klgr.-M. Die Last von 1 Klgr. macht ohne Hebel zu der Hebung auf 1 Cm. Höhe nöthig die mechanische Arbeit von $0{,}01 \times 1 = 0{,}01$ Klgr.-M. Die Arbeit ist also, vorausgesetzt daß der Hebel sich leicht um seinen Unterstützungspunkt dreht, mit dem Hebel gerade ebenso groß, als ohne Hebel. An mechanischer Arbeit läßt sich Nichts sparen; nur läßt sie sich durch die Maschine anders einrichten und so verändern, daß wir sie ausführen können. Eine Last von 2000 Klgr. 1 Cm. hoch zu heben, ist eine Arbeit, die sich ohne Maschine gar nicht ausführen läßt; mittels eines Hebels ist sie leicht ausführbar, bleibt aber auch an ihm eine Arbeit von $2000 \times {}^1/_{100} = 20$ Klgr.-M.

§. 18. Anwendungen des Hebels mit zwei ungleichen Armen.

Das Brecheisen der Maurer, mit dem sie die Steine der abzutragenden Mauer losbrechen, ist ein Hebel mit zwei ungleichen Armen, dessen Unterstützungspunkt nahe bei dem Widerstand leistenden Steine liegt; die Spitze des Eisens wird unter den Stein getrieben, und, während es sich

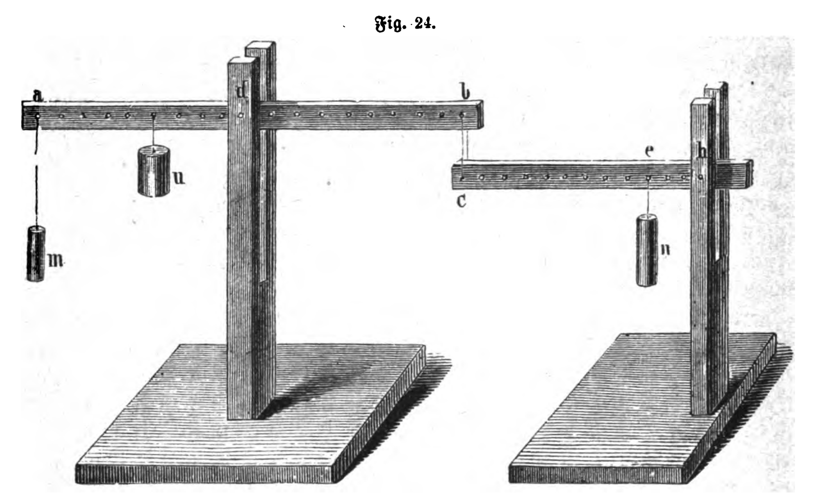
(wie in Fig. 25, 15) unten auf eine feste Kante stützt, sein oberes Ende niedergedrückt; durch weiteres Hineintreiben des Eisens und wiederholtes Niederdrücken lassen sich Steine lösen, die bei alten Mauern mit einer Kraft von tausend, und wenn sie größer sind, von mehreren Tausend Pfund zusammenhängen. Hebebäume werden auf Seeschiffen angewandt, um die Mastbäume emporzuheben, diese haben ein außerordentliches Gewicht und sind mit einem Vorsprung versehen, unter welchen der gegen 5 M. lange Hebel geschoben wird; da man außerordentlich an Kraft gewinnen muß, wenn die Arbeit ausführbar sein soll, verliert man ebensosehr am Wege; der Mastbaum wird ungefähr um 4 Mm. gehoben, und dies reicht hin, um die Keile zu lösen, die rings um ihn eingetrieben sind. Der Griff des Spatens, dessen Unterstützung beim Losbrechen einer Erdscholle durch die Kante des noch festen Erdreichs gebildet wird, muß, um an Kraft zu gewinnen, einen größeren Weg durchlaufen; ebenso an der gewöhnlichen Pumpe der Griff des Pumpenschwengels (Fig. 25, 13), damit die eiserne Pumpenstange, die an dem kürzeren Arme hängt, mit geringer Anstrengung auf und ab bewegt werden könne. Das Schaukelbrett, welches die Knaben quer über einen horizontalen Balken legen, verschieben sie zuerst so lange, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, und der größere Knabe auf dem kürzeren Hebelarme sitzt; beim Auf- und Abbewegen legt der kleinere Knabe zu seiner nicht geringen Freude stets den größeren Weg zurück. An dem Schlagbaum, dessen kürzerer und schwererer Arm auf dem Erdboden ruht, gebraucht die an dem längeren Ende ziehende Hand des Zolleinnehmers nur eine höchst unbedeutende Kraft; aber sie und jeder Theil des Seiles muß einen langen Weg durchlaufen. Den Nußknackern in der Form menschlicher Figuren wird die Nuß recht weit in den Mund, nahe an den Unterstützungspunkt, gelegt, damit der Hebelarm, an welchem die Nuß dem Zerdrücken Widerstand leistet, sehr kurz sei. Die Thürklinken (Fig. 25, 10) sind ungleicharmige Hebel, durch die eine auf den kürzeren Arm drückende stählerne Feder gehoben, und es zugleich der Hand möglich wird, die zum Oeffnen nöthige hinaufgehende Bewegung der eingreifenden Klinke durch Hinabdrücken hervorzubringen. Scheeren und Zangen (Fig. 25, 7 u. 4) sind doppelte zweiarmige Hebel mit gemeinschaftlichem Unterstützungspunkte; bei der Scheere leistet der durchzuschneidende Stoff einen Widerstand und wird nahe an die Axe gelegt, damit der Griff den längeren Hebelarm bilde, den man bei Metallscheeren für starke Bleche noch durch angeschraubte hölzerne Stangen verlängert. Die Nagelzange wirkt zuerst als kraftersparender Hebel, wenn ihre kürzeren, unten keilförmigen Arme unter den Nagelkopf gedrängt werden, und hat die Axe der Zange selbst zum Unterstützungspunkt; nachher wird sie, wenn der Nagel noch festsitzt, zur Seite gebogen und stützt sich auf das Holz, aus dem der Nagel gezogen werden soll. Nicht ganz gleicharmig pflegt auch der Winkelhebel zu sein, der Hebel an Klingelzügen (Fig. 25, 12), dessen Arme mit einander einen Winkel bilden.

§. 19. Der einarmige Hebel.

Die bisher besprochenen Hebel hatten sämmtlich zwei Arme; zu mechanischen Leistungen werden aber eben so oft einarmige Hebel gebraucht.

Versuche a. Die noch unbenutzte kürzere Stange der Hebelvorrichtung (§. 11) werde nahe dem einen Ende durchbohrt und von der Bohrung an in Cm. getheilt. Darauf bringe man sie zwischen die Säulen eines ähnlichen aber niedrigeren Gestelles, als das für den zweiarmigen Hebel benutzte ist, und schiebe durch sie und eins der unteren Bohrlöcher

Fig. 24.



einen Stift, um den sie sich drehen kann. Ihre eigene Schwere und vollends ein als Last angehängtes Gewicht würde sie nach unten ziehen; die Kraft, die mit der Last auf einer und derselben Seite vom Drehungspunkte angreift, wird nach oben wirken müssen. Man schlinge deshalb einen Faden um das linke Ende c des einarmigen und das rechte b des darüber befindlichen zweiarmigen Hebels und schiebe auf dem linken Arm des letzteren ein beliebiges Gewicht u so lange hin und her, bis es der Schwere des unbelasteten einarmigen Hebels das Gleichgewicht hält und beide Hebel in horizontale Lage bringt. Die Kraft wird am linken Arm a des oberen Hebels angebracht, damit derselbe als gleicharmige Wage diene und zugleich als Maschine, welche eine nach unten wirkende Kraft in eine nach oben ziehende verwandelt. Nun hänge man an den einarmigen Hebel ein Klgr. 3 Cm. vom Drehungspunkte, und links an den gleicharmigen ein Hektogramm; es wird das Gleichgewicht eintreten. Das Hektogramm zieht das Ende des einarmigen Hebels, einen Arm von 30 Cm., aufwärts und hat das Moment $^1/_{10} \times {}^{30}/_{100} = {}^3/_{100}$ Klgr.; die Last an dem kürzeren Arm hat das Moment $1 \times {}^3/_{100} = {}^3/_{100}$ Klgr. So wird auch Gleichgewicht erfolgen, wenn die

Last an einem 15 Cm. langen Arm des unteren Hebels hängt, und die nach oben wirkende Kraft, die am 30. Cm. angreift, 1 Pfund beträgt. Es ist also auch der einarmige Hebel nach dem allgemeinen Hebelgesetz (§. 13) im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

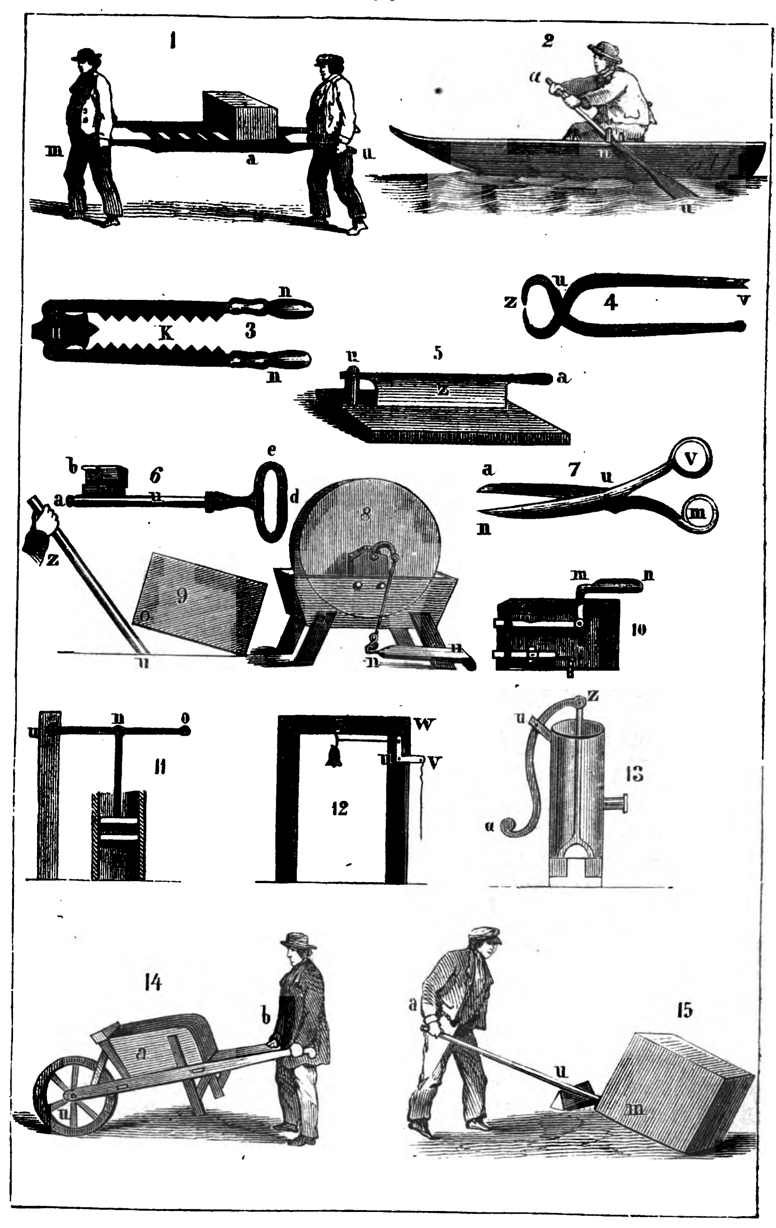
Versuch b. Der zweiarmige Hebel werde entfernt, an den einarmigen, 30 Cm. langen Hebel, 3 Cm. vom Drehungspunkte, ein Klgr. gehängt, das bei schräg gesenkter Stellung des Hebels die Tischplatte berühre. Das Ende des Hebels werde mit der Hand 10 Cm. hoch emporgehoben; die Last wird nur 1 Cm. hoch gehoben sein. Es ist auch am einarmigen Hebel gemäß der goldenen Regel (§. 17) mit dem zehnfachen Gewinn an Kraft ein zehnfacher Verlust an dem von der Last durchlaufenen Wege verbunden.

Das Gesetz über den Hebel und seine Anwendung war schon im Alterthum bekannt. Archimedes, der im J. 212 vor Chr. gestorben ist, setzte durch Hebel vor dem König Hiero große Lasten in Bewegung und sprach zu ihm: „Gieb mir einen Standpunkt (außerhalb der Erde), und ich will die Erde bewegen."

§. 20. Anwendungen des einarmigen Hebels.

Der einarmige Hebel ist zunächst ein Mittel, beim Fortschaffen von Lasten die Arbeit unseren Kräften gemäß einzurichten. Die Schubkarre (Fig. 25, 14) hat ihren Unterstützungspunkt da, wo ihr Rad den Boden berührt, und den Angriffspunkt der Kraft bilden die Handhaben; hat ein Arbeiter die Last mitten auf die Karre gelegt und beim Aufheben derselben gesehen, daß sie ihm zu schwer ist, so schiebt er die Last dem Rade näher und giebt, damit der Hebelarm der Kraft länger werde, der Unterstützung mehr zu tragen; beim Fortschieben dreht sich nun aber das Rad schwerer um, als zuvor. Die von zwei Lastträgern fortgeschaffte Trage (Fig. 25, 1) gestattet ein bequemeres Tragen und ein den Kräften angemessenes Vertheilen der Last; zuweilen geschieht es, daß, während der Eine seine beiden Handhaben in der Hand hält, der Andere die ihm zugewandten Handhaben der Trage aufhebt, fühlt, daß ihm die Last zu schwer ist, und sie dem Ersten näher schiebt. Lag der Schwerpunkt der Last von dem ersten Träger, für den die Hände des zweiten den Drehungspunkt bilden, doppelt so weit entfernt, als von diesem, dann war für den Ersten die Last um einen Theil, und seine Hände um 3 solcher Theile vom Drehungspunkte entfernt; er trug nur $\frac{1}{3}$ von der ganzen Last und überließ dem Zweiten die beiden andern Drittel. An unsern Fuhrwerken hat die Wage, an welche die Zugseile der Pferde befestigt werden, für zwei Pferde zwei gleiche Arme; für drei neben einander gespannte Pferde dagegen ist sie so eingerichtet, daß das auf der einen Seite einzeln gehende Pferd an einem doppelt so langen Hebelarm zieht. Ein sich zwischen zwei Bolzen bewegendes Ruder (Fig. 25, 2) hat seinen Drehungspunkt im Wasser, das nicht so schnell seine Stelle

Fig. 25.

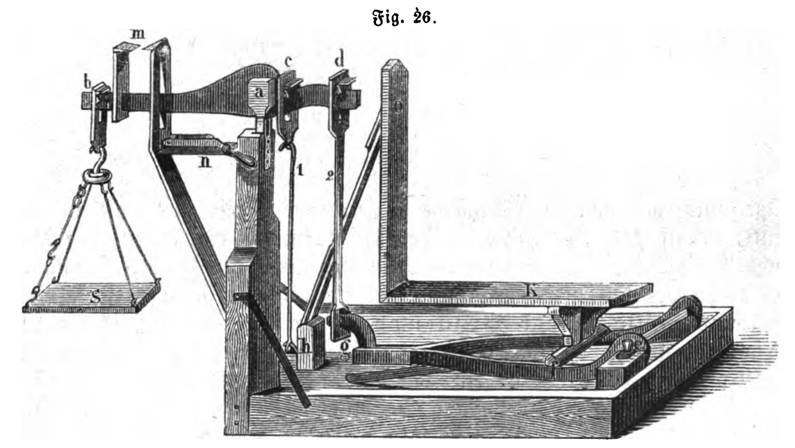


verlassen kann, seine Last da, wo es die Gondel berührt, und das Ende seines längeren Armes in der Hand des Ruderers. Außer daß der Hebebaum, wenn er mit dem einen Ende unter einen Wagen oder einen Stein geschoben und auf die Erde gestützt wird (Fig. 25, 9), als einarmiger Hebel das Heben erleichtert, sehen wir Häcksel-, Tabaks- und Zuckerschneiden (Fig. 25, 5) und eiserne Nußknacker (Fig. 25, 3) den Widerstand der unter sie gelegten Massen leichter überwinden und zugleich ihren Griff einen längeren Weg abwärts durchlaufen. Auch das Tretbrett an Schleifsteinen (Fig. 25, 8), der Schwengel der Druckpumpe (Fig. 25, 11), Schlüssel, Stimmhammer, Bohrer und Schraubenzieher wirken als einarmige Hebel; am Schlüssel (Fig. 25, 6) ist die Länge des Bartes der kürzere, und die halbe Länge des Griffs der längere Arm, den die Hand nach rechts bewegt, und den man beim Oeffnen eines verrosteten Schlosses noch durch einen hindurchgesteckten Holzstab zu verlängern pflegt.

§. 21. Die Brückenwage.

Auf den Bahnhöfen, in Werkstätten und Fabriken findet man jetzt allgemein die Brückenwagen, die 1821 durch den Mechaniker Quintenz zu Straßburg erfunden und beim Wägen größerer Lasten äußerst bequem sind. Eine Brückenwage ist eine Zusammenstellung von ungleich-

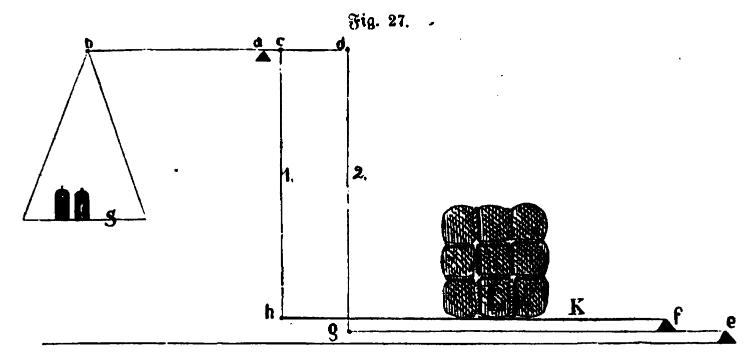
Fig. 26.



armigen Hebeln, und zwar von einem zweiarmigen und zwei einarmigen. Den zweiarmigen Hebel bildet der Wagebalken bd; aus Eisen und sehr stark gearbeitet, hat er mehrere Biegungen, wodurch es möglich wird, die Aufhängepunkte und seine Axe in eine wagerechte Linie zu legen. Der Arm zur Linken ab trägt die Wageschale und ist zehn Mal so lang, als der Arm ac, an welchen die Last zu hängen wäre. Ein Klgr. in der Schale S hält einer Last von zehn Klgr. das Gleichgewicht, wobei man den Vortheil hat, mit kleinen Gewichten große Massen

wägen zu können. An dem kürzeren Arm des Wagebalkens hängt aber in dem Punkte c keine Wageschale für die Last, sondern eine eiserne Stange ch, die erste Zugstange. Unten in dieselbe ist in dem Punkte h ein einarmiger Hebel, die für die Last bestimmte Brücke K, eingehängt, eine hölzerne, mit Blech beschlagene Tafel, die rechts auf der Schneide f ruht. Würde nun eine Last auf die Brücke gelegt, so würde sie zwar mit einem Theil ihres Gewichts die Zugstange niederziehen und auf den Wagebalken wirken; allein ein anderer Theil würde von der Schneide f getragen werden, und derselbe würde desto größer sein, je näher ihr die Last liegt. Dieser Theil des Gewichts darf für den Wagebalken nicht verloren gehen. Deshalb wird die Schneide sammt dem darauf ruhenden Ende der Brücke von einem zweiten, unter ihr befindlichen einarmigen Hebel eg getragen, der seinen Drehungspunkt auf der Schneide e, unten im Gestell der Wage, hat und links mittels einer zweiten Zugstange gd, die von der Axe a entfernter ist, als die erste, den Wagebalken in d niederzieht. So wirkt durch die zweite Zug-

Fig. 27.



stange auch der von der Schneide f getragene Theil der Last in dem Punkte d auf den Wagebalken. Der Hebelarm ac der ersten Zugstange macht den fünften Theil von ad, dem Hebelarm der zweiten Zugstange, aus, wenn der unterste einarmige Hebel eg fünfmal so lang ist, als ef. Ueberhaupt muß an der Brückenwage der kürzere Theil ad des Wagebalkens ebenso eingetheilt sein, wie der Hebel eg unter der Brücke. Ist daher ef ein Dm., und der ganze Hebel eg 5 Dm. lang, ist ferner ac ein Cm. lang, so muß ad 5 Cm. lang sein. Das Gleichgewicht wird dadurch angezeigt, daß eine an den Wagebalken befestigte Schneide m sich in wagerechte Linie mit einer am Gestell angebrachten Schneide stellt. Um die Wage zu schonen, läßt sich durch einen Handgriff, die Arretirung n, der Wagebalken so verschieben, daß die Brücke auf dem Gestelle ruht.

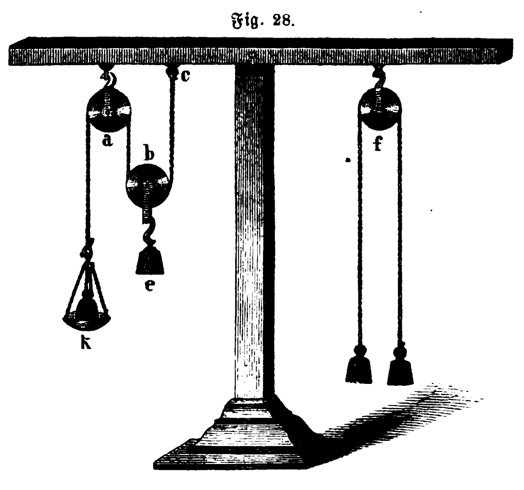
Da in die Schale S Gewichte gelegt werden, die dem zehnten Theil der gewöhnlichen Gewichte gleichkommen, muß ihr Hebelarm ab zehnmal so lang sein, als der Hebelarm ac der Last. Die auf der Brücke liegende Last muß daher bei einer richtigen Wage so wirken, als

hinge die ganze Last in dem Punkte c des Wagebalkens oder an der ersten Zugstange. Von der Last auf der Brücke, die 50 Klgr. wiegen möge, wirkt ein Theil, beispielsweise 20 Klgr., unmittelbar auf die erste Zugstange und den Punkt c des Wagebalkens. Der andere Theil der Last, der 30 Klgr. beträgt, drückt in dem Punkte f den Hebel unter der Brücke nieder. 30 Klgr. wirken beim Gleichgewicht in f an dem 1 Dm. langen Hebelarm ef, wie 6 Klgr. an einem 5 Dm. langen Arme eg in g. Die zweite Zugstange und der Punkt d des Wagebalkens werden daher mit einem Druck von 6 Klgr. hinabgezogen. Diese 6 Klgr. wirken im Punkte d an einem Arm ad von 5 Cm., wenn ac 1 Cm. lang ist. 6 Klgr. an einem 5 Cm. langen Arm wirken beim Gleichgewicht, wie in c, an einem Arm von 1 Cm. Länge, 6×5 oder 30 Klgr. Der Punkt c wird daher hinabgezogen durch den ersten Theil der Last mit einem Druck von 20 Klgr., und durch den zweiten Theil der Last mit einem Druck von 30 Klgr., und die Wage wirkt so, als hinge die ganze Last an der ersten Zugstange, wie es erfordert wird.

II. Die Rolle.

Die Rolle, die zweite einfache Maschine, ist eine kreisrunde, zur Aufnahme einer Schnur an ihrem Umfange ausgehöhlte Scheibe, die sich um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehen läßt. Die Axe wird von einer Scheere getragen, deren Arme auf beiden Seiten bis etwas über ihre Mitte reichen. Für die folgenden Versuche bedarf man 2 oder 3 Rollen von beliebiger Größe, wie sie in jeder Metallwaarenhandlung zu geringem Preise käuflich sind.

Fig. 28.



§. 22. Die feste Rolle.

Versuch a. Man schraube oder hänge eine Rolle f an ein Gestell, oder man halte sie an ihrer Scheere mit der Hand fest, so daß übergehängte Gewichte sie nicht abwärts bewegen. Die Scheere soll festsitzen und sich durch Last oder Kraft nicht auf oder ab bewegen lassen; eine solche Rolle, deren Scheere befestigt ist und weder

steigen noch sinken kann, heißt eine feste Rolle. Ueber die Rolle werde eine Schnur oder ein Bindfaden gehängt, und an sein eines Ende als Last ein Klgr. gebunden. Bringt man an dem andern Ende der Schnur ein ebenso großes Gewicht an, das als Kraft wirkt, so wird das Gleichgewicht hergestellt. Nie wird sich auf einer Seite ein Uebergewicht zeigen, so oft auf beiden Seiten gleiche Gewichte hängen.

Fig. 29.

Gesetz: Die feste Rolle ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft der Last gleich ist.

Man denke sich von dem Punkte a zur Linken, wo die Last mittels des Seiles angreift, nach der Rechten, zum Angriffspunkt b der Kraft, eine wagerechte Linie durch den Mittelpunkt der Rolle gezogen. Es erhellt dann, daß Last und Kraft an den zwei gleichen Armen ca und cb eines Hebels wirken, der in der Axe c der Rolle seinen Unterstützungspunkt hat. Wie man auch die Rolle drehen mag, immer übt sie diese gleicharmige Hebelwirkung; man hat deshalb die feste Rolle als immerwährenden gleicharmigen Hebel bezeichnet.

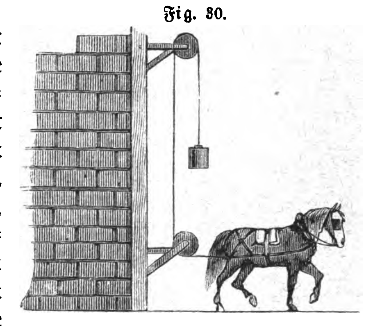
Versuch b. Eine an der Rolle wirkende Kraft soll meistentheils nicht eine Last in sicherem Gleichgewicht halten; sondern ihre Arbeit ist, sie wirklich emporzuziehen. Man befestige mittels eines Fadens an das eine der an der Rolle hängenden Klgr. so viel Metallstücke, Drähte, Nägel, Schlüssel, bis die Bewegung eintritt, und die Last aufwärts gezogen wird. Das Uebergewicht, das man der Kraft zulegen muß, zeigt sich ziemlich bedeutend, weil die Axe sich nicht leicht in der Scheere und die Schnur nicht ohne Widerstand um die Rolle bewegt. Demnach kann man bei Anwendung einer festen Rolle mit der Kraft von einem Klgr., die ein M. durchläuft, keineswegs eine Last von einem Klgr. ein M. hoch heben; sondern man muß, was besonders bei großen Lasten in Betracht gezogen werden muß, eine größere Kraft anwenden. Wenn auf das eine Ende des Bindfadens oder Seils ein Meterkilogramm Arbeit verwandt ist, so ist die Leistung des anderen Seilendes geringer, als ein Meterkilogramm.

§. 23. Anwendung der festen Rolle.

Obwohl der Gebrauch der festen Rolle mit einem Verlust an mechanischer Arbeit verbunden ist, wird sie als mechanische Vorrichtung angewandt, um die Richtung einer Bewegung zu ändern. So bringt man feste Rollen bei Thüren an, damit ein lothrecht sich hinabbewegendes Gewicht der geöffneten Thür durch die über die Rolle laufende Schnur eine wagerechte Bewegung ertheile und sie wieder schließe; das Oeffnen solcher Thüren ist unbequem, das Gewicht beträgt mehr, als die sonst zum Schließen nöthige Kraft, weil es mittels fester Rollen wirken soll; der Eintretende hat beim Oeffnen auf ein Mal mehr, als die zum

Oeffnen sammt dem Schließen nöthige Arbeit, zu leisten. Wenn Lasten höher zu heben sind, als durch den kleinen Raum, durch den ein Hebel sie schaffen könnte, wendet man Rollen an und macht dadurch das Hinaufheben der Last durch eine abwärts ziehende oder sich horizontal bewegende Kraft möglich. So hängt der Rammklotz an einem Seile, und dies läuft oben über eine feste Rolle, damit die Arbeiter, um den Rammklotz emporzuheben, abwärts ziehen können. Gebraucht man Pferde, um große Balken auf den oberen Theil eines Gebäudes zu schaffen, so wendet man zwei feste Rollen an; die eine ist unten an das Gebäude befestigt, das Seil wird von den Pferden aus unter dieselbe geleitet, führt dann lothrecht zu der oben an dem Gebäude angebrachten Rolle, wird über dieselbe gelegt und hängt mit dem freien Ende bis auf den Erdboden hinab, damit die Last angebunden werde; auf diese Weise wird die wagerecht wirkende Zugkraft der Pferde verwandt zu einer lothrecht aufsteigenden Bewegung.

Fig. 30.



§. 24. Die bewegliche Rolle.

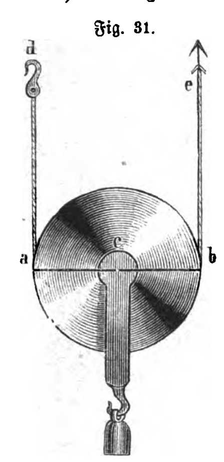
Versuch a. Nachdem die feste Rolle a in Figur 28 an ein Gestell befestigt ist, binde man das eine Ende einer Schnur oben in c an das Gestell. Weiter leite man die Schnur unter einer zweiten Rolle b hindurch, deren Scheere abwärts hängt, und befestige mit einem Faden unten an die Scheere ein Gewicht von 1 Klgr. Hält man nun das freie Ende der Schnur mit der Hand, so hängt die ganze Rolle in der Schnur; zieht man diese aufwärts, so bewegt sich auch die Rolle sammt ihrer Scheere aufwärts. Eine Rolle, deren Scheere sich sammt der daran hängenden Last auf und ab bewegen läßt, heißt eine bewegliche Rolle.

Versuch b. Zur Herstellung des Gleichgewichts nimmt man die obere, feste Rolle zu Hülfe. Das freie Ende der Schnur wird lothrecht empor und über jene hinweggeleitet, und daran ein Gewicht befestigt. Beträgt dasselbe ein Pfund, so tritt das Gleichgewicht ein. Das Pfund wirkt an der beweglichen Rolle als aufwärts ziehende Kraft, und die feste Rolle ist nur angewandt, um die abwärts ziehende Richtung der Kraft in eine nach oben wirkende umzuwandeln. Die Kraft ist halb so groß, als die Last. Der Versuch läßt sich auch ohne Gestell anstellen, indem man, nachdem die Schnur durchgeleitet ist, die Rollen auf den Tisch legt, die ebenfalls darauf stehenden Gewichte anbindet und nun das Ganze emporhebt, das linke Ende der Schnur in der einen Hand und die Scheere der festen Rolle in der andern.

Gesetz: Die bewegliche Rolle ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so groß ist, als die Last.

Denkt man sich, wie bei der festen Rolle, eine wagerechte Linie ab durch die Axe der beweglichen Rolle, so erscheint sie als ein einarmiger Hebel, dessen Unterstützungspunkt da liegt, wo das oben befestigte Seilende sie verläßt, in a. Die Last hängt am Mittelpunkt der Rolle und hat den Arm ac; die aufwärts ziehende Kraft wirkt am Umfange, an einem doppelt so langen Arme ab. Die bewegliche Rolle stellt sich also als ein einarmiger Hebel dar, an welchem der Arm der Kraft doppelt so lang ist, als der der Last.

Fig. 31.



Versuch c. Die bewegliche Rolle giebt uns ein Mittel, mit irgend einer Kraft beinahe die doppelte Last zu heben. Man bewege das Pfund, die Kraft, k in Fig. 28, mit der Hand 4 Cm. abwärts; wenn 4 Cm. von der Schnur über die feste Rolle gelaufen sind, sind die beiden Theile der Schnur, in welchen die Last hängt, zusammen um 4 Cm., jedes also um 2 Cm. verkürzt, und folglich, wie man auch beim Nachmessen findet, die Last nur 2 Cm. gehoben. Bewegt man die Last mit dem Finger auf oder ab, so sieht man die Kraft den doppelten Weg zurücklegen. Es bestätigt sich wieder die goldene Regel §. 17, nach welcher die doppelte Last an der beweglichen Rolle nur den halben Weg durchlaufen kann. Ueberdies wird von der aufgewandten Arbeit noch ein Theil dadurch verloren, daß ebenfalls Kraft erfordert wird, um die Schnur und die Axe der Rolle zu bewegen.

§. 25. Der Flaschenzug und seine Anwendung.

Selten gebraucht man eine bewegliche Rolle allein; vielmehr stellt man mehrere bewegliche Rollen mit ebenso vielen unbeweglichen zu einer Vorrichtung zusammen, die den Namen Flaschenzug führt. Flasche oder Kloben heißt die gemeinsame Scheere, in welcher mehrere, gewöhnlich drei, Rollen über oder neben einander befestigt sind. Zwei durch ein Seil verbundene Flaschen bilden einen Flaschenzug. Die obere Flasche ist unbeweglich und an einen Balken befestigt, ihre Rollen nehmen von der obersten abwärts an Größe ab. Die untere Flasche ist beweglich, trägt die unten angehängte Last und hat unten ihre größten Rollen. Das Seil ist lothrecht abwärts und aufwärts geführt; es läuft von dem unten an der oberen Flasche befindlichen Haken um die oberste Rolle der unteren Flasche und die unterste der oberen Flasche, dann über die Mittelrollen beider Flaschen, endlich von der untersten Rolle über die oberste unbewegliche. An dem frei bleibenden Ende ist die Kraft anzubringen.

Die Last vertheilt sich gleichmäßig auf die sechs Theile des Seils, in denen sie hängt. Da die Kraft nur einem dieser Theile, dem sechsten, das Gleichgewicht zu halten hat, braucht sie für Herstellung des Gleichgewichts nur dem sechsten Theile der Last gleich zu sein. Soll nun

die Last ein Dm. steigen, so müssen für jede bewegliche Rolle die beiden Theile des Seils, in denen sie hängt, zusammen um zwei Dm. und jeder der sechs Theile um ein Dm. verkürzt werden; es müssen also sechs Dm. des Seils über die oberste Rolle gezogen werden. Die Kraft hat somit 2×3 Dm. zu durchlaufen; 2×3 ist aber die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen. Am Flaschenzuge giebt die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen an, wie viel Mal so groß die Last ist, als die Kraft, die ihr das Gleichgewicht hält.

Fig. 32.

Soll, wie es immer beabsichtigt wird, durch den Flaschenzug die Bewegung der Last hervorgebracht werden, so muß, weil die Seile und die Axen der Rollen sich nicht ohne Aufwand an Kraft bewegen, die Kraft größer sein, und die Erfahrung lehrt, daß sie schon bei einem sehr sorgfältig gearbeiteten Flaschenzuge $1\frac{1}{6}$ Klgr. betragen muß, um 6 Klgr. zu heben. Die Kraft hat eine Arbeit von $6 \times 1\frac{1}{6} = 7$ Meterkilogramm; die Maschine hebt aber nur 6 Klgr. 1 M. hoch und verrichtet eine Arbeit von 6 Meterkilogramm. Der Flaschenzug macht es möglich, was weder mit dem Hebel, noch mit einer festen Rolle geschehen kann, mit geringerer Kraft Lasten auf ziemlich bedeutende Höhen zu schaffen.

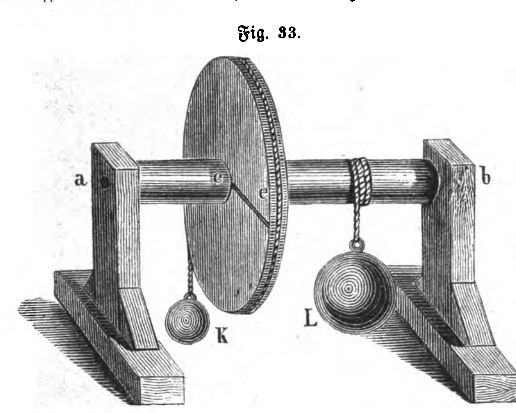
Flaschenzüge werden fortwährend am Bord der Schiffe angewandt, um Masten, Segel und Segelstangen zu heben oder zu senken; bei Bauten werden so Balken und Steinmassen emporgezogen. Maurer und Handwerker ziehen sich, wenn sie an der Vorderseite hoher Gebäude Ausbesserungen zu fertigen haben, mittels eines Flaschenzuges selbst empor; die festen Rollen werden vom Innern des Gebäudes aus über der auszubessernden Stelle befestigt, und als Last hängt an der beweglichen Flasche ein Kasten, in welchem sich der Arbeiter selbst befindet. In entgegengesetzter Absicht, um am Wege zu gewinnen, so daß die Kraft einen kleineren Raum durchläuft, als die zu überwindende Last, hängt man bei großen Wand- und Thurmuhren häufig ein dieselben als Kraft treibendes Gewicht an eine bewegliche Flasche oder Rolle; es dauert dann länger, bis das Gewicht auf den Boden hinabgesunken ist, und die Uhr braucht nicht so oft aufgezogen zu werden.

III. Das Wellenrad.

§. 26. Gleichgewicht und Leistung des Wellenrades.

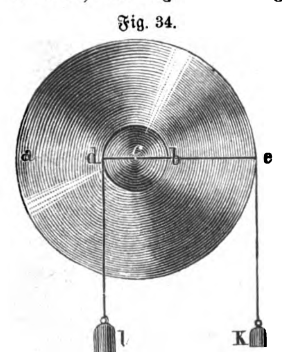
Versuch a. Man verschafft sich eine 10 Cm. lange Walze und ein kreisrundes Brettchen von 1,5 Cm. Stärke; das Brett habe einen Durchmesser von 10 Cm., die Walze nur von 2 Cm. Beide werden so an einander befestigt, daß ihre Mittelpunkte in eine gerade Linie fallen. In die Enden a und b dieser Linie werden runde Stifte geschlagen, welche Zapfen heißen; sie lassen sich in den Bohrungen zweier Ständer, den Zapfenlagern, leicht umdrehen. Diese feste, um eine gemeinsame Axe drehbare Verbindung eines Rades mit einer Walze heißt das Rad an der Welle oder Wellenrad. Die Walze heißt die Welle. Am Rade wirkt die Kraft, während die Last an der Welle angreift. Hängt man an eine durch einen Stift an die Welle befestigte Schnur die Last von 1 Pfund, so tritt das Gleichgewicht ein, wenn man an das Rad 1 Hektogramm = $\frac{1}{5}$ Pfund hängt. Dabei ist darauf zu achten, daß die Schnur von dem Umfange des Rades nicht abgleite.

Fig. 33.



Vom Angriffspunkte der Last d denke man sich zu dem der Kraft e durch die Axe eine wagerechte Linie gezogen. Dann erscheint das Wellenrad als immerwährender Hebel mit zwei ungleichen Armen cd und ce. Das für den Versuch gebrauchte Rad hat einen Halbmesser von 5 Cm., die Welle einen Halbmesser von 1 Cm. Der Hebelarm der Kraft ist mithin fünfmal so lang, und die Kraft beträgt darum $\frac{1}{5}$ von der Last. Das Wellenrad ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft ebenso oft in der Last enthalten ist, als der Halbmesser der Welle in dem des Rades.

Fig. 34.



Versuch b. Man drehe das Rad mit der Hand, so daß die Last emporgezogen wird. Sie wird nur den fünften Theil von dem Wege durchlaufen, den die Kraft zurücklegt; nach der goldenen Regel §. 17 ist auch hier am Wege verloren,

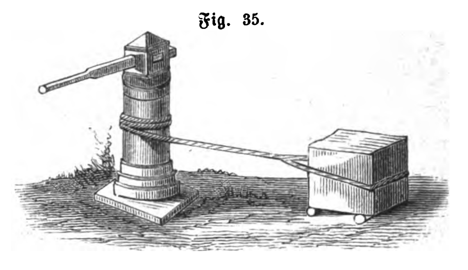
was an Kraft gewonnen ist. Das Umdrehen einer großen Welle erfordert aber schon dann Kraft, wenn noch keine Last daran hängt, und verzehrt einen nicht geringen Theil der von der Kraft geleisteten Arbeit.

§. 27. Verschiedene Einrichtungen und Anwendungen des Wellenrades.

a. Ein Wellenrad bildet jeder Rouleaustab; das Rouleau ist die Last, und die Hand die an dem Rade ziehende Kraft, für die es weniger auf Kraftersparniß und mehr darauf ankommt, durch eine abwärts gehende Bewegung eine nach oben gerichtete hervorzubringen. An den Wasserrädern der Mühlen wirkt die Wasserkraft auf den Umfang des großen Rades, der durch Speichen mit der Welle verbunden ist. In diesen Fällen ist das Wellenrad ein vollständiges.

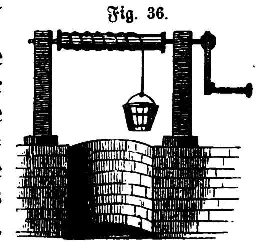
b. Häufig ist das Rad weniger vollständig und durch mehrere Halbmesser oder Speichen ersetzt; es heißt dann ein Speichenrad. So bestehen viele Haspel aus einer Welle, die an mehreren Stellen durchbohrt ist, hier werden, wie man bei den Schützen der Wassermühlen sehen kann, mehrere Stäbe hindurchgeschoben, durch Menschenkraft bewegt, nach vollbrachter Arbeit, weil sie hinderlich sein würden, wieder herausgezogen und bei Seite gelegt. Am Göpel (Fig. 35), der in den Bergwerken angewandt wird, um Lasten fortzubewegen, hat die Welle lothrechte Stellung, und der Arbeiter schiebt oben durch ihren Kopf den Stab, mit dessen Hülfe er sie umdreht. Der Haspel unterscheidet sich vom Göpel dadurch, daß seine Welle wagerecht liegt; soll er oben auf einem im Bau begriffenen Hause aufgestellt werden und zum Emporwinden von Baumaterialien dienen, so wäre es unzweckmäßig, wenn die Stäbe in die Welle lose eingeschoben wären und hinabfallen könnten; man befestigt daher an die Welle ein Rad und versieht dessen Kranz mit festsitzenden Speichen. So fehlt ebenfalls an den Windmühlen das vollständige Rad, und statt seiner sind an der Welle vier Speichen, die Windmühlenflügel, angebracht; der Wind wirkt zum Theil in großem Abstand von der Axe und bringt deshalb eine bedeutende Wirkung hervor.

Fig. 35.



c. An der durch Figur 36 dargestellten Welle des Schöpfbrunnens findet sich am Ende der Welle statt des Rades eine einzige Speiche mit wagerechtem Handgriff, der mit der Hand gedreht wird. Eine ähnliche mit Handgriff versehene Speiche bildet die Vorrichtung zum Drehen eines Schleifsteins, einer Drehmandel (Drehrolle),

Fig. 36.



vieler Handmühlen und der Schlüssel zum Aufziehen großer Spieluhren und Thurmuhren. Eine mit einem Handgriff versehene Radspeiche heißt eine Kurbel; die Radspeiche heißt der Kurbelarm. Der Handgriff liegt wagerecht, wenn die Welle wagerecht liegt, wie es außer den angeführten Kurbeln an der des Leierkastens und der Kaffeetrommel der Fall ist. Dagegen hat der Handgriff lothrechte Stellung, wenn die Welle lothrecht steht, wie an den Kaffeemühlen.

§. 28. Rückblick auf die Gruppe des Hebels.

Die drei ersten einfachen Maschinen lassen sich nach §. 22, 24, 26 sämmtlich auf die Gesetze des Hebels zurückführen und bilden eine zusammengehörige Gruppe, **die Gruppe des Hebels.** Während der Hebel immer nur durch kleine Räume bewegt werden oder, immer wieder von Neuem niedergedrückt, nicht ununterbrochen, sondern nur in Absätzen arbeiten kann, wirken Rolle und Wellenrad beständig, in jeder Stellung, als Hebel; die feste Rolle erscheint als beständiger Hebel mit zwei gleichen Armen, bei der beweglichen Rolle ist der Arm der Kraft zweimal, beim Wellenrad gewöhnlich bedeutend größer, als der Arm der Last. Für alle diese Maschinen tritt das Gleichgewicht ein, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist. Je kleiner aber dabei die arbeitende Kraft ist, desto kleiner ist der Weg, den die Last durchläuft, und desto mehr Zeit gebraucht man zur Vollendung der Arbeit. Dabei leistet nur der auf Schneiden oder scharfe Kanten gestützte Hebel eine gleich große Arbeit, wie die an ihm thätige Kraft; die Rolle aber und das Rad an der Welle verzehren für ihre Bewegung einen Theil der Arbeit und vollbringen an der Last weniger Arbeit, als die an ihnen thätige Kraft aufgewandt hat. Die zweite Gruppe der einfachen Maschinen ist die Gruppe der schiefen Ebene.

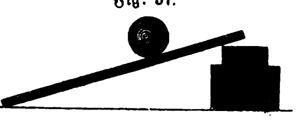
IV. Die schiefe Ebene.

§. 29. Last und Kraft auf der schiefen Ebene.

Versuch a. Ein ebenes Brettchen, vielleicht ein von einer Cigarrenkiste genommenes, bildet, wenn es auf der horizontalen Tischplatte liegt, eine horizontale Ebene, wie der Boden einer ebenen Gegend, wenn man auf seine geringen Unebenheiten keine Rücksicht nimmt. Legt man auf das horizontale Brettchen eine Kugel, so muß sie an jeder Stelle desselben ruhend liegen bleiben, weil ihr Schwerpunkt unterstützt ist. Doch nun hebe man das eine Ende des Brettchens empor, während das andere Ende sich auf die Tischplatte stützt. Dann bildet das Brettchen eine emporsteigende, schiefe Ebene. Wird eine Kugel auf dieselbe gelegt, so rollt

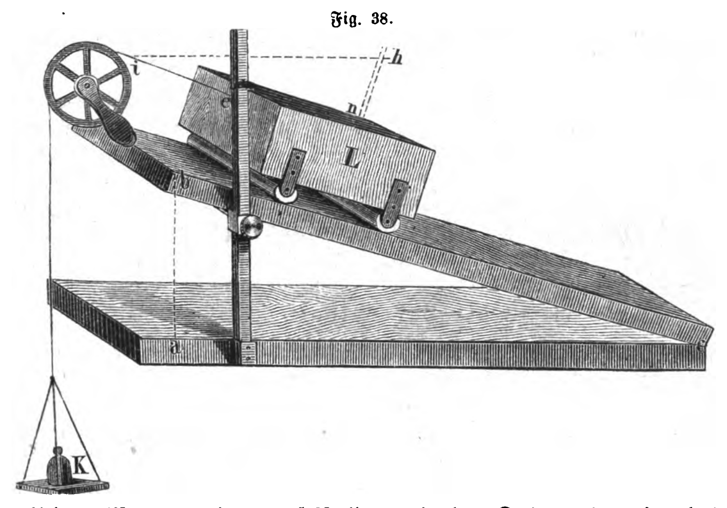
oder fällt sie hinab. Hält man das Ende der Ebene noch höher, so fällt die Kugel schneller, als zuvor, aber immer noch langsamer, als wenn sie in der Luft frei und lothrecht von derselben Höhe hinabfiele. Auf eine *horizontale* Ebene übt die Kugel einen *Druck* aus und wird ganz von ihr getragen, neben einer *lothrecht* stehenden Ebene würde sie gar keinen Druck ausüben und mit ganzer Kraft *fallen*. Auf einer *schiefen Ebene*, welche eine Mittelstellung zwischen der horizontalen und der lothrechten hat, fällt der Körper nicht mit ganzer Kraft und drückt auch nicht mit ganzer Kraft; sondern er *wird zum Theil von der schiefen Ebene getragen* und fällt mit geringerer Geschwindigkeit hinab. *Je höher* die Ebene bei derselben Länge emporsteigt, desto schneller rollt oder gleitet ein Körper darauf abwärts, desto mehr Kraft wird man deshalb anwenden müssen, um ihn daran zu hindern.

Fig. 37.



Versuche b. Das eine Ende c eines 32 Cm. langen Brettchens cb ruhe auf dem Tische, unter das andere Ende werde ein Holzstück von 2 Cm. Höhe gelegt. Das Brett stellt eine schiefe Ebene dar, die in 32 Cm. 2 Cm. steigt oder bei einer Länge von 32 Cm. 2 Cm. Höhe hat. Die höchste Stelle b dieser schiefen Ebene befinde sich hart an der Kante der Tischplatte. Als Last, die am Hinabrollen zu hindern ist, nehme man

Fig. 38.



einen kleinen *Wagen*, einen auf Rollen ruhenden Kasten, oder eine hölzerne Walze von ungefähr 8 Cm. Durchmesser (oder eine mit Sand gefüllte Schachtel), durchbohre ihre beiden ebenen Flächen in der Mitte und stecke einen Draht oder eine Stricknadel hindurch, um die, als ihre feste Axe, die Walze sich drehen kann, wenn sie die schiefe Ebene hinabrollt. Darauf versehe man einen kurzen Faden an jedem Ende mit einer Schleife und schiebe jeden Theil der Axe in eine der beiden Schleifen. Beim *Wägen* der Walze

oder des Wagens mögen sie sich 640 Gr. schwer zeigen. An die Mitte jenes Fadens, in dessen Schleifen die Axe der Walze sich leicht bewegt, werde das Ende eines längern Bindfadens geknüpft. Wenn man den Bindfaden gleichlaufend mit der schiefen Ebene hält, wie groß muß die Kraft sein, welche die Last am Hinabrollen hindert? Um die Kraft durch Gewichte messen zu können, schraubt man eine Rolle i oben auf die schiefe Ebene, so daß sie noch über deren äußerstes Ende hervorragt, und der darüber laufende Bindfaden genau eben so schräge Richtung hat, wie die schiefe Ebene. Des Bindfadens lothrecht hinabhängendes Ende versehe man mit einem aus Draht gebogenen Haken und hänge daran ein von Schnüren getragenes Brettchen oder eine Wageschale. Thut man jetzt in dieselbe, während die schiefe Ebene feststeht, Gewichte, so wird die Last am Hinabrollen gehindert, wenn die Gewichte 40 Gr. betragen. Die Höhe der schiefen Ebene war $1/_{16}$ von ihrer Länge; die in der Richtung der Ebene aufwärts ziehende Kraft beträgt, wenn die Last 640 Gr. wiegt, 40 Gr. oder $1/_{16}$ von der Last.

Ferner lege man unter das obere Ende der schiefen Ebene ein zweites Holzstück, bis es sich 4 Cm. hoch über die Tischplatte erhebt. Die zuvor angewandte Kraft wird jetzt zu klein sein und der Last nicht mehr das Gleichgewicht halten. Von Neuem müssen in die Schale Gewichte gelegt werden. Wenn das Gleichgewicht eintritt, wird sie mit 80 Gr. belastet sein. Die Höhe der Ebene, 4 Cm., ist in ihrer Länge von 32 Cm. achtmal enthalten, und die nöthige Kraft von 80 Gr. ist in der Last von 640 Gr. ebenso oft enthalten.

Giebt man der schiefen Ebene eine Höhe von 8 Cm., während sie ihre Länge von 32 Cm. behält, dann wird die Kraft zur Herstellung des Gleichgewichtes 160 Gr. oder den vierten Theil der Last betragen. Daraus folgt das

Gesetz: So oft die Höhe einer schiefen Ebene in ihrer Länge enthalten ist, ebenso oft ist die in der Richtung der schiefen Ebene wirkende Kraft beim Gleichgewicht in der Last enthalten.

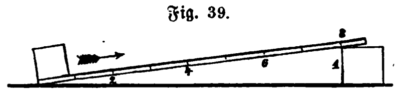
Dies Gesetz über die schiefe Ebene war, bereits vor 1500, dem berühmten italienischen Maler Leonardo da Vinci (gest. 1519) bekannt.

§. 30. Leistung und Anwendung der schiefen Ebene.

Wie die einfachen Maschinen der ersten Gruppe, dient auch die schiefe Ebene zur Ausführung und Erleichterung mechanischer Arbeiten. Gesetzt, man habe eine Last von 200 Klgr. ein M. hoch zu schaffen und nähme eine schiefe Ebene zu Hülfe, die bei 8 M. Länge ein M. steigt, deren Höhe also $1/_{8}$ der Länge ist, so hat man durch Anwendung dieser Maschine die aufzuwendende Kraft auf den achten Theil der Last, auf 25 Klgr. verringert. Hat man nun aber weniger Arbeit? Die Kraft von 25 Klgr. muß einen 8 M. langen Weg durchlaufen oder achtmal so lange arbeiten,

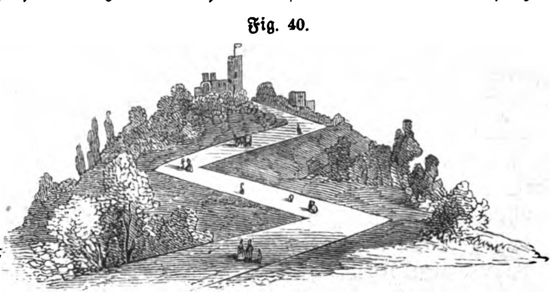
um die Last auf ein M. lothrechter Höhe zu bringen; so oft die Kraft auf der schiefen Ebene ein M. zurücklegt, wird die Last nur $^1/_8$ M. gehoben. Auch hier bestätigt sich die goldene Regel (§. 17), daß am Wege verloren wird, was man an Kraft gewonnen hat. Die zu leistende Arbeit beträgt, da 200 Klgr. 1 M. hoch gehoben werden sollen, 200 Meterkilogramm; der Arbeiter selbst leistet dagegen auf der schiefen Ebene achtmal eine Arbeit von 25 Meterkilogramm. Die vollbrachte Arbeit ist also mit der schiefen Ebene eben dieselbe, wie ohne die Maschine; doch tritt bei ihrer Anwendung ein Arbeitsverlust ein, der desto größer ist, je mehr ihre Unebenheiten die Bewegung der Last aufhalten.

Fig. 39.



Wenn Ziegelerde aus einer Grube emporgeschafft werden soll, so legen die Arbeiter aus Brettern eine schiefe Ebene an, die allmählich aus der Tiefe aufsteigt, füllen die Erde in Schubkarren und schieben sie mit geringer Anstrengung die Ebene hinauf. Bei Bauten aus Quadersteinen legt man schräge Auffahrten, sogenannte Rampen, an; die Maurer legen die schweren Steine auf eine ihrer schmalen Seiten und bewegen sie die Rampe aufwärts, indem sie dieselben immer um ihre Kante drehen. Die Schrotleiter, deren man sich bedient, um Fässer auf einen Lastwagen zu bringen, besteht aus zwei durch Querstäbe verbundenen hölzernen Stangen, die schräg gegen den Wagen gelegt werden. Aufsteigende Landstraßen sind schiefe Ebenen, die den Zugthieren das Fortschaffen des Wagens erschweren; während nämlich von einem horizontalen Wege die ganze Last getragen wird, und Nichts zu überwinden ist, als der durch die Unebenheiten des Weges entstandene Widerstand, haben die Pferde auf einer steigenden Straße außerdem noch einen Theil von dem Gewichte der Last zu heben. Bergstraßen setzt man aus mehreren möglichst sanft aufsteigenden Wegen zusammen, indem man sie an dem Abhange eines zu übersteigenden Berges zuerst nach der rechten, etwas höher nach der linken Seite und so im Zickzack weiter bis auf die höchste Stelle führt. Jede Treppe und jede Leiter sind schiefe Ebenen mit Stufen und desto unbequemer, je steiler sie angelegt sind.

Fig. 40.



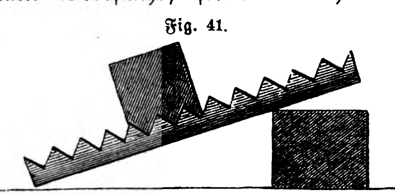
§. 31. Die Reibung.

Versuch. Auf ein wagerecht liegendes Brettchen, das man etwa von einer Cigarrenkiste genommen hat, werde ein Klgr. gestellt. Hebt man das

eine Ende des Brettchens ein wenig empor, so gleitet das Gewicht nicht sogleich abwärts. Auch wenn man das Brett beim zwanzigsten Cm. angefaßt und hier 5 Cm. hoch gehoben hat, ruht das Gewicht noch unbeweglich. Und doch treibt es die Schwerkraft abwärts und sucht es, da die Höhe der schiefen Ebene in ihrer Länge 4 Mal enthalten ist, mit der Kraft von $^1/_4$ Klgr. hinabzuziehen. Es muß demnach eine stärkere Kraft der Bewegung entgegenwirken und sie verhindern.

Jeder Körper, er mag noch so sorgfältig geglättet und polirt sein, zeigt, wenn wir ihn durch ein Vergrößerungsglas betrachten, nicht eine glatte Oberfläche, sondern Reihen von Erhöhungen und Vertiefungen.

Fig. 41.



Wird nun ein Körper auf einen andern gelegt, so sinken die erhabenen Stellen des einen in die Vertiefungen des andern und drücken sich in dieselben ein. Soll der Körper bewegt werden, dann leisten die vorstehenden Theile Widerstand und müssen umgebogen, abgerissen oder zerbrochen werden. Dieser durch die in einander greifenden Unebenheiten sich berührender Körper hervorgebrachte Widerstand wird die **Reibung** (oder Friction) genannt.

§. 32. Benutzung der Reibung.

Die Reibung ist unentbehrlich, wo Gegenstände feststehen oder festgehalten werden sollen. Die Reibung zwischen Bleistift oder Feder und der Hand bietet die Möglichkeit, sie festzuhalten; die hineingeschobenen Deckel der Tuschkasten, nicht minder die der Schachteln, bleiben durch Reibung geschlossen. Auch beim Besteigen einer Anhöhe oder eines Baumes benutzen wir die Reibung. Das um ein Packet gebundene Band sitzt in dessen Unebenheiten fest, und der Sattel des Reiters wird lose, wenn die Reibung nachläßt. Die angelehnte Leiter wird durch die hervorragenden Stellen des Fußbodens an dem Hinweggleiten gehindert; ebenso schräg gestellte Regenschirme und Stöcke, Degen und Flinten. Alle Gewebe und Geflechte, gestrickte und gestickte Stoffe verdanken der gegenseitigen Reibung der Fäden ihre Festigkeit. Wichtige Dienste leistet die Reibung bei denjenigen einfachen Maschinen, die als Befestigungsmittel dienen, bei dem Keil und der Schraube (§. 36 u. f.).

Häufig vergrößern wir absichtlich die Reibung. So überzieht man schräge Schreibpulte nicht selten mit Tuch und stellt so darauf gelegten Gegenständen einen Widerstand entgegen, der sicherer ihr Hinabgleiten hindert. Beim Hinabfahren von steilen Anhöhen hält man Lastwagen auf, indem man durch Hemmschuhe oder Bremswerke (§. 41) die Reibung vermehrt. Schrauben, die mit den Fingern gedreht werden sollen, wie sie an Lampen vorkommen, giebt man einen geränderten Kopf, dessen Unebenheiten der Hand ein sicheres Anfassen und Umdrehen erleichtern. Da

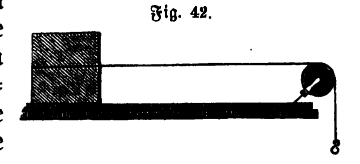
Glatteis für die Sicherheit des Stehens und Gehens uns zu wenig Reibung gewährt, stellen wir uns dieselbe durch Streuen von Sand und Asche in hinreichendem Maße her.

Der Violinbogen wird mit Harz bestrichen, damit er den Saiten durch Reibung seine Bewegung mittheile. So wird auch an der Zeugrolle (Mandel) der schwere Rollkasten hin und her geschoben und bewegt durch seine Reibung an der Wäsche die damit umwickelten, unter ihm befindlichen Walzen. Jede Rolle, um die eine Schnur läuft, und jede Welle, um die ein Riemen geschlungen ist, werden durch deren Reibung umgedreht. Die Unebenheiten des Erdbodens endlich halten den Kranz der Wagenräder zurück, wenn die Kraft der Zugthiere den Wagen vorwärts bewegt, und bewirken ihre Umdrehung.

§. 33. Die beiden Arten der Reibung.

Versuch a. Das in §. 29 b. angewandte Brett mit der daran angeschraubten Rolle werde wagerecht und so auf die Tischplatte gelegt, daß ein über die Rolle laufender Faden vor dem Tische frei herabhängt. Eine kurze Walze, wozu die zu jenem Versuche gebrauchte von 640 Gr. Gewicht sich eignet, werde mit einer ihrer ebenen Flächen auf das Brett oder die Tischplatte gestellt, das eine Ende eines Fadens darum geschlungen, der Faden über die Rolle geleitet, und an das hinabhängende Ende ein so großes Gewicht gehängt, daß die Walze sich zu bewegen beginnt, und die Reibung überwunden wird. Dazu werden ungefähr 300 Gr. erforderlich sein. Die Walze gleitet dann langsam auf der horizontalen Fläche dahin. Diese Reibung eines Körpers, wie ein Schlitten auf der Schneebahn oder eine Schleife auf der Straße sie zu überwinden hat, wird die gleitende Reibung genannt.

Fig. 42.



Versuch b. Im Gegensatz dazu versehe man die Walze, wie in §. 29 b., wieder mit einer Axe, um welche sie bei einer rollenden oder wälzenden Bewegung sich leicht drehen kann, stelle sie mit der abgerundeten Fläche auf das Brett oder den Tisch und führe den Faden von ihr aus wieder über die Rolle. Schon ein unbedeutendes Drahtstück oder ein kleiner Schlüssel, den man an den Faden hängt, wird sie jetzt bewegen. Die Reibung eines sich wälzenden oder rollenden Körpers pflegt man die rollende oder wälzende Reibung zu nennen. Wie der Versuch lehrt, ist die wälzende Reibung weit geringer, als die gleitende. Während ein gleitender Körper bei seiner Bewegung die hervorstehenden Unebenheiten zerreißen und zerbrechen muß, heben sich die eines rollenden Körpers aus den Vertiefungen seiner Bahn fast unversehrt empor und machen der bewegenden Kraft eine geringere Arbeit.

Deswegen sucht man die gleitende Reibung zu vermeiden und an ihre Stelle die wälzende zu setzen. Beim Fortschaffen von Steinblöcken

oder großen Monumenten wendet man Walzen an; von zwei Walzen wird die Last getragen und auf einer Bahn von starken Brettern vorwärts gezogen; eine dritte Walze wird vorn unter die Last gelegt, wann sie im Begriff ist, die hinterste Walze zu verlassen, die man wiederum vorn unterlegt. Aus demselben Grunde erklärt sich die Anwendung von Rollen unter Rollstühlen und andern Möbeln und der Räder bei unsern Fuhrwerken. Soll dagegen ein Wagen, der zu schnell von einer Anhöhe hinab rollen würde, zu langsamerer Bewegung genöthigt werden, so verwandelt man durch Hemmschuhe, die man unter die Räder schiebt, oder durch Bremswerke (§. 41) seine wälzende Reibung in eine gleitende.

§. 34. Größe der Reibung.

Versuch a. An der zum vorhergehenden Versuch gebrauchten Vorrichtung knüpfe man das wagerechte Ende des Fadens um ein Klgr., stelle es auf ein Brettchen und stecke darein vor dem Gewicht ein Paar Nadeln, damit es sich nicht ohne das Brett vorwärts bewegen kann. Man hängt darauf an das herabhängende Ende des über die Rolle laufenden Fadens Gewichte, bis das Brett mit seiner Last von einem Kilogramm vorwärts gezogen wird. Eine Kraft von $\frac{1}{2}$ Klgr. wird Bewegung hervorbringen. Stellt man auf das Brett 200 Gr., dann erfolgt die Bewegung bei einer Zugkraft von 100 Gr. Die Reibung nimmt mit der Größe der Last oder dem Druck zwischen den sich reibenden Körpern zu; bei doppeltem Gewicht ist die Reibung doppelt, bei dreifachem dreimal so groß. Nähkissen, die durch Reibung auf dem Tische festgehalten werden sollen, füllt man deswegen mit schweren Massen, mit Sand oder Bleiplatten; beim Festhalten mit der Hand üben wir einen starken Druck gegen den gehaltenen Gegenstand aus, wenn er einer ziehenden Kraft nicht folgen soll; zum Fortziehen eines Wagens auf einer wagerechten Straße, wobei nur die Reibung zu überwinden ist, genügt oft, wenn er unbelastet ist, die Kraft eines Menschen, für die Bewegung eines beladenen Fuhrwerks ist sie wegen der vermehrten Reibung nicht hinreichend; soll ein Blatt Papier nicht durch Zugluft bewegt werden, so legen wir zur Vermehrung des Drucks und der Reibung ein Buch darauf.

Versuch b. Wendet man die rauhere Seite des zu bewegenden Brettchens, auf der man mit bloßem Auge zahlreiche Unebenheiten wahrnimmt, nach unten und legt ein zweites, ebenso unebenes darunter, das man mit der Hand festhält, dann wird bei einem Drucke von einem Klgr. ein halbes Klgr. noch keine Bewegung hervorbringen. Die Reibung wird durch die Rauheit der sich berührenden Flächen vergrößert.

Versuch c. Man nehme zwei auf ihrer unteren Fläche glatte Brettchen von verschiedener Größe und belaste zuerst das eine, dann das andere mit einem Klgr. Die zur Bewegung nöthige Kraft, folglich auch die Reibung, wird sich in beiden Fällen gleich groß zeigen. Bei glatten Körpern wird die Reibung durch die Größe der sich berührenden Flächen nicht vermehrt, weil der Druck der Last sich auf mehr Punkte

vertheilt. Bei doppelt so großen Flächen reiben sich doppelt so viel Punkte, aber nur unter halbem Drucke.

Versuch d. Für Holz, das unter dem Drucke von 1 Klgr. sich auf Holz fortbewegt, beträgt die Reibung ungefähr $^1/_2$ Klgr. Stellte man aber das Klgr. unmittelbar auf eine Metallbahn, etwa auf zwei Stricknadeln, die man an einem Ende festhält, so erfolgt schon bei einer Zugkraft von 100 Gr. Bewegung. Die Größe der Reibung ist für verschiedene Körper verschieden und desto geringer, je härter die sich reibenden Körper sind. Sie beträgt bei Holz auf Holz gegen 0,5, bei Metall auf Metall nur 0,18. Bei der großen Wichtigkeit, welche die Kenntniß der Reibungsgröße für den Maschinenbau hat, sind die Versuche darüber mehrfach mit centnerschweren Massen angestellt worden, da sie in kleinerem Maßstabe keine Genauigkeit gewähren.

Durch zweckmäßige Schmiermittel wird die Reibung vermindert, weil dadurch die Unebenheiten ausgefüllt werden. Bei den eisernen Axen oder Zapfen einer Welle, die sich auf Gußeisen oder Messing drehen und mit Oel, Talg oder Schmalz geschmiert werden, beträgt die Reibung 0,08. Bei ganz neuen Maschinen ist sie größer, und deren Leistung deshalb geringer, als nachdem sie einige Zeit in Gebrauch gewesen sind. Wo Seile angewandt werden, bewirkt nicht bloß ihre Reibung, sondern auch ihre unvollkommene Biegsamkeit oder Steifheit einen Verlust an der Arbeit der Maschine.

Wie bedeutend der durch die Reibung hervorgebrachte Arbeitsverlust an jeder Maschine ist, erhellt aus der Betrachtung dessen, was vermöge der Reibung ein einziger Maschinentheil, die Axe an der Welle eines Wasserrades, an Arbeit verzehrt. Das Wasserrad habe, bei einem Gewicht von 12500 Klgr., gußeiserne Zapfen von 20 Cm. = 0,2 M. Durchmesser und mache in der Minute 6 Umdrehungen. Bei gehörig geschmierten Zapfen beträgt die Reibung 0,08 der von ihnen getragenen Last, die hier 12500 Klgr. ausmacht, mithin $12500 \times 0{,}08 = 1000$ Klgr.; so große Kraft wird erfordert, um den Zapfen zu bewegen. Nun muß aber der Zapfen sich drehen, und dabei muß jede Stelle seines Umfanges einen Kreis durchlaufen, der, wie jede Kreislinie, 3,14 Mal so groß ist, als ihr Durchmesser. Der Zapfen hat einen Durchmesser von 0,2 M.; die ganze Kreislinie hat daher eine Länge von $3{,}14 \times 0{,}2 = 0{,}628$ M., und die Kraft von 1000 Klgr., die, bei 6 Umdrehungen des Rades in einer Minute, diesen kreisförmigen Weg sechsmal durchläuft, hat eine Arbeit von $0{,}628 \times 6 \times 1000 = 3768$ Meterkilogramm. So bedeutend ist für jede Minute der Arbeitsverlust, der hier durch die Zapfen einer einzigen Welle hervorgebracht wird, und doch muß jede zusammengesetzte Maschine eine Menge von Wellen und Rädern enthalten, die zum Theil ein nicht geringes Gewicht besitzen. Wie aus der Rechnung sich ergiebt, würde der Arbeitsverlust größer sein, wenn die Zapfen einen größeren Umfang hätten; weshalb es vortheilhaft ist, unserem Fuhrwerk, statt der umfangreicheren hölzernen, eiserne Wagenaxen von kleinerem Durchmesser zu geben.

§. 35. Transport auf Straßen und Eisenbahnen.

Wenn die Kenntniß der Reibung durchaus nöthig ist, um einzusehen, daß durch jede Maschine an mechanischer Arbeit verloren wird, so ist sie auch unerläßlich zur Beurtheilung unserer **Transportmittel**, da die beim Fortschaffen auf wagerechten Straßen geleistete Arbeit in der Ueberwindung der Reibung besteht.

Keine Art des Transports ist ungünstiger, als die mittels einer schlittenähnlichen **Schleife**, wobei auf gutem Straßenpflaster die Reibung schon 0,5 von der Last beträgt; zum Fortziehen einer Last von 2000 Klgr. wird dabei eine Kraft von 1000 Klgr. erfordert. Ein **Schlitten** auf einer recht glatten Schneebahn hat dagegen eine weit geringere Reibung =0,04 zu überwinden und würde zur Bewegung jener Last von 2000 Klgr. nur eine Kraft von 80 Klgr. nöthig machen.

Für den Transport müssen daher, wenn kein Schnee liegt, die rollende Reibung und Schmiermittel angewandt, das heißt, es müssen **Wagen** gebraucht werden. Auf einer guten **Chaussee** hat ein Wagen eine Reibung zu überwinden, die 0,05 der Last ausmacht. Jene 2000 Klgr. erfordern somit auf einer vollkommen horizontalen Chaussee eine Kraft von 100 Klgr. Auf den meisten Chausseen kommen aber **schiefe Ebenen** vor, die in 20 M. 1 M. steigen, und von denen die Last mit dem zwanzigsten Theile ihres Gewichts abwärts zu rollen strebt, so daß die 2000 Klgr. außerdem noch eine Kraft von 100 Klgr. erheischen, damit sie fortgezogen werden. Daraus, daß eine solche Chaussee mit einzelnen Steigungen gerade die doppelte Zugkraft =0,1 in Anspruch nimmt, ergiebt sich, wie viel darauf ankommt, Landstraßen möglichst horizontal zu legen.

Mit der Anlegung einer Chaussee ist schon viel gewonnen. Denn auf einem **sandigen Landwege** ist die Größe der Reibung gleich der Hälfte der Last. Die 2000 Klgr. erfordern auf einem horizontalen Sandwege 1000 Klgr., also eine **zehnmal so große Zugkraft**, als auf einer horizontalen Chausee.

Nachdem man schon lange zuvor durch Anlegung von Holzbahnen die Reibung zu verringern sich bemüht hatte, kam man im Anfang des vorigen Jahrhunderts, geraume Zeit vor Erfindung der Dampfwagen, in England auf den Gedanken, auf jene Holzbahnen eiserne Schienen zu befestigen und **Eisenbahnen** anzulegen. Die erste dieser Bahnen führte aus den Steinkohlengruben von Newcastle bis an den Fluß Tyne, wo die Schiffer die Kohlen in Empfang nahmen, und die gewaltigen Kohlenwagen wurden auf der Bahn durch Pferde gezogen. Die Reibung beträgt auf einer Eisenbahn 0,005 der Last, so daß ein Pferd darauf zehnmal so viel zu ziehen vermag, als auf einer guten Chaussee. Bei dieser geringen Zugkraft sind schiefe Ebenen mit größter Sorgfalt zu vermeiden; eine schiefe Ebene, die in einer Länge von 200 M. nur 1 M. emporstiege und dem Auge als vollkommen horizontal erscheint, würde sogleich die **doppelte** Zugkraft erfordern, da die Last mit $1/_{200} = 0{,}005$ ihres Gewichts hinabzurollen strebt und außerdem 0,005 zur Ueberwindung der Reibung bedarf.

§. 36. Das Beharrungsgesetz.

Versuch a. Auf einen Tisch lege man eine Kugel aus beliebigem Stoff; wahrscheinlich wird sie nach einer Seite hinrollen und dadurch anzeigen, daß die Tischplatte nicht völlig horizontal steht, sondern eine schiefe Ebene bildet; man schiebe in diesem Falle zusammengelegte Papierstückchen unter die Tischfüße, bis die Kugel auf jeder Stelle der Platte ruhig liegen bleibt. Auf der Tischplatte ist dann durchaus keine Kraft wirksam, durch welche die Kugel bewegt werden könnte. Legt man dagegen ein Brettchen oder ein Buch mit seinem einen Ende auf den Tisch, so daß es eine schiefe Ebene darstellt, so ist auf dieser die Schwerkraft wirksam und treibt die darauf gelegte Kugel hinab. Die hinabrollende Kugel beharrt in ihrer Bewegung auch noch auf der Tischplatte, obwohl dieselbe wagerecht ist, bis die entgegenwirkende Reibung der Bewegung ein Ende macht. Die Kugel hat dann durch Ueberwindung der Reibung bis dahin das geleistet, wozu sie durch das Hinabrollen befähigt worden ist.

Versuch b. Ein halber Bogen Papier werde seiner Länge nach mehrmals geknifft, und daraus eine längliche Rinne geformt, die durch das aufwärts gebogene Papier an dem Ende zur Linken geschlossen und auf der rechten Seite offen ist. Die Weite der Rinne gestatte einer Kugel, sich ohne Reibung an den Seitenwänden zu bewegen. Die Rinne liege auf der Tischplatte, die Kugel werde nahe dem geschlossenen Ende hineingelegt, und man fasse das rechte Ende mit den Fingern und ziehe das Papier nicht zu langsam nach der rechten Seite. Dadurch wird auch die Kugel nach rechts bewegt. Hält man nun aber die Rinne plötzlich an und beendigt dadurch deren Bewegung, so setzt die Kugel die Bewegung noch eine Strecke fort, entweder innerhalb der Rinne, oder wenn die bewegende Hand stark genug gewirkt und sich jetzt entfernt hat, auf der Tischplatte; sie beharrt dabei in unveränderter Richtung gerade nach der rechten Seite und giebt durch Ueberwindung der Reibung auf dem durchlaufenen Wege die an sie gewandte mechanische Arbeit wieder.

Versuch c. Um dieselbe Erscheinung an flüssigen Körpern zu beobachten, fülle man ein Glas bis zum Rande mit Wasser und schiebe es auf dem Tische, zuerst langsam, vorwärts und halte es dann plötzlich an. Das Wasser wird seine Bewegung beibehalten und zum Theil über den Rand des Glases überfließen. Aehnlich ist der Hergang beim Uebergießen aus Gefäßen, wenn sie hingestellt werden.

Wenn eine Feder und zugleich die daran haftende Tinte beim Schreiben schnell bewegt, und plötzlich die Feder durch eine unebene Stelle des Papiers aufgehalten wird, so setzt die Tinte ihre Bewegung weiter fort und spritzt; an einer Gerte oder Peitsche, deren Mitte einen Pfeiler trifft, bewegt sich das freie Ende weiter; von einer Cigarre, die man bewegt und deren Bewegung man durch einen Finger hemmt, reißt sich die Asche los und behält ihre Bewegung, bis die Schwere sie zu Boden zieht; so reißt sich auch von einem dürren Holzzweige, den

man gegen einen feststehenden Gegenstand bewegt, ein Stück los und beharrt in der ihm ertheilten Bewegung. Wenn der Stiel eines Hammers schnell abwärts gegen einen Stein gestoßen wird, so setzt der eiserne Kopf des Hammers, wenn der Stiel schon zur Ruhe gekommen ist, seine Bewegung noch fort und wird dadurch fester auf den Stiel getrieben. Ein in einem Pennal oder einer Flasche eingeklemmter Gegenstand kann dadurch herausgebracht werden, daß man Pennal oder Flasche schnell gegen die Hand bewegt. Das reife Obst wird abgeschüttelt, indem man den Zweigen eine schnelle Bewegung mittheilt und das Obst, welches sich losreißt, dieselbe fortsetzen läßt. Wenn ein Eisenbahnzug sich noch in ziemlich großer Entfernung von dem Anhaltepunkte befindet, unterbricht man die Wirkung der Maschine; der Zug aber setzt seine Bewegung fort, so lange er die Reibung überwinden kann. So sehen wir auch den Pfeil weiter fliegen, wenn schon die Kraft der Sehne auf ihn zu wirken aufgehört hat, und die Flintenkugel setzt, nachdem sie längst den Flintenlauf verlassen, ihren Weg fort, bis die Schwerkraft sie zur Erde niederzieht.

So gewiß ein Körper, der keinen Willen hat und sich in Ruhe befindet, sich nimmermehr von selbst in Bewegung setzen kann, ebenso gewiß kann auch kein willenloser Körper sich entschließen, die ihm gegebene Bewegung abzuändern; er selbst kann weder seine Geschwindigkeit vermindern oder vergrößern, noch eine andere Richtung einschlagen wollen. Daher gilt als **Beharrungsgesetz** nicht bloß: Ein ruhender Körper bleibt so lange in Ruhe, bis er durch irgend eine Kraft in Bewegung gesetzt wird; sondern vornehmlich: Ein bewegter Körper verharrt mit unveränderter Richtung und Geschwindigkeit in seiner Bewegung so lange, bis er durch Einwirkung einer Kraft oder eines Widerstandes daran verhindert wird. Das Beharrungsgesetz ist von Galiläi (gest. 1642) aufgestellt.

Daß diesem Gesetze (das man unrichtig als eine Eigenschaft oder ein Vermögen der Körper angesehen und Trägheit oder Beharrungsvermögen genannt hat) alles Körperliche unterthan ist, geht aus folgenden Erfahrungen hervor. Wenn ein Kahn oder ein Wagen plötzlich anhält, so neigt sich der Oberkörper des Fahrenden vorwärts, indem er seine Bewegung fortsetzt; Reiter stürzen über den Hals des Pferdes, wenn es im schnellen Lauf ganz unvermuthet gehemmt wird. Rasch Laufende können vor einem zu breiten Graben und schnell dahingleitende Schlittschuhläufer vor einer nicht mit Eis bedeckten Stelle nur mit größter Mühe stehen bleiben; sie fassen den Entschluß, ihre Bewegung zu ändern, ihre Muskelkraft reicht dazu häufig nicht hin, und sie werden ein Opfer des Beharrungsgesetzes. Ebenso gefährlich ist es, aus einem sich schnell bewegenden Wagen zu springen; wenn die Füße des Hinabspringenden den Boden berühren, setzt der Oberkörper seine Bewegung in derselben Richtung, wie der Wagen, fort und fällt mit großer Geschwindigkeit zu Boden. Beim Wettrennen schießen die Pferde weit über das Ziel hinaus, ehe ihr Lauf angehalten werden kann, und instinktmäßig benutzen von Hunden verfolgte Hasen das Beharrungsgesetz zu ihrer Rettung; nachdem das Windspiel ihn eine Strecke verfolgt hat, ändert der Hase, der

weniger schnell läuft, mit einem Male durch eine Seitenwendung die Richtung seiner Bewegung, läßt den auf die Wendung unvorbereiteten Hund in derselben Richtung weiterschießen und gewinnt, während der Hund mit dem Beharrungsgesetz kämpft und die Richtung seines Laufes zu ändern bemüht ist, einen nicht geringen Vorsprung.

Aus dem Beharrungsgesetze ergiebt sich die Folgerung, daß von dem, was man an mechanischer Arbeit geleistet hat, Nichts verloren gehen kann. Wo nur eine Maschine in Bewegung gesetzt wird, da zerfällt die Arbeit der Kraft in zwei Theile; der eine setzt die Last in Bewegung, der andere Theil besteht in der Ueberwindung der Reibung. Ueberwindung der Reibung ist aber ebenfalls Arbeit und häufig sehr nützliche Arbeit, wie beim Ziehen von Fuhrwerken. Was wir Arbeitsverlust nennen, ist und bleibt gethane Arbeit; für den beabsichtigten Zweck ist sie verloren, während sie für einen andern Zweck sehr nützlich sein könnte. Die Aufgabe ist, das zu entfernen oder zu verringern, was unzweckmäßige Arbeit verursacht.

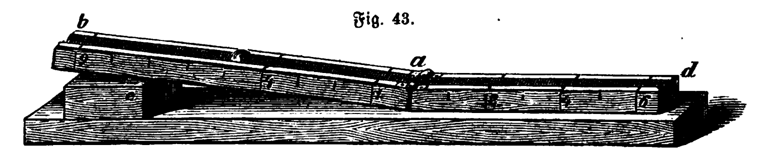
§. 37. Galiläi's schiefe Ebene und die Fallgesetze.

Die Arbeiter an einer Ramme wissen, daß der Rammklotz eine desto größere Wirkung ausübt, je höher er hinaufgezogen wird, und je tiefer er dann hinabfällt; da sein Gewicht unverändert bleibt, kann er offenbar die größere Wirkung nur darum ausüben, weil beim Herabfallen von einer größeren Höhe seine Geschwindigkeit zunimmt. Auch Hagelkörner würden, wenn sie aus einer Höhe von einem M. herabfielen, nicht jene den Kornfeldern verderbliche Gewalt äußern; sie erlangen diese nur durch die große Geschwindigkeit, die ihnen während der längeren Zeit des Herabfallens durch die Schwerkraft nach und nach ertheilt worden ist. Denn die Schwerkraft wirkt nicht etwa bloß im ersten Augenblick auf die fallenden Körper und überläßt sie dann dem Beharrungsgesetze, sondern sie ist eine ununterbrochen wirkende Kraft; sie giebt dem fallenden Körper im ersten Augenblick eine gewisse Geschwindigkeit, die er, nach dem Beharrungsgesetze, für den zweiten Augenblick der Bewegung mitbringt; in diesem fügt aber die Schwerkraft einen neuen Zuwachs an Geschwindigkeit hinzu, und in dieser schnelleren Bewegung beharrt der Körper, bis sie durch den Zuwachs im dritten Augenblick noch geschwinder wird. Wegen der in gefährlicher Weise wachsenden Geschwindigkeit werden den von einem hohen Gerüst Hinabfallenden die Glieder zerbrochen und zerschmettert, während doch Niemand Bedenken trägt, von einer Bank bis auf den Fußboden hinabzuspringen. Auch die Lawinen, die von beschneiten Bergeshöhen hinabrollen und Hunderte von Bäumen fortreißen, thun dar, daß die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers fortwährend zunimmt.

Versuchsreihe a. Man fertige sich aus Pappe oder Holz eine Rinne von solcher Weite, daß eine Kugel, wie sie gerade zur Hand ist, mit möglichst geringer Reibung sie durchlaufen kann. Die Länge der Rinne betrage 127 Cm. (oder noch besser, damit man die Fallstrecken zu 10 Cm.

nehmen könne, 252 Cm.). Inwendig wird sie polirt oder mit glattem Papier überklebt. Statt der Rinne kann man zwei neben einander gelegte runde Stäbe anwenden, die unten durch Querstäbe verbunden sind. Die Rinne, welche die Stellung einer schiefen Ebene erhalten soll, theilt man in 25 gleiche, 5 Cm. lange Strecken; man fängt von dem tiefsten Punkt a der schiefen Ebene an, schreibt an den ersten Theilstrich 1, an den vierten 4,

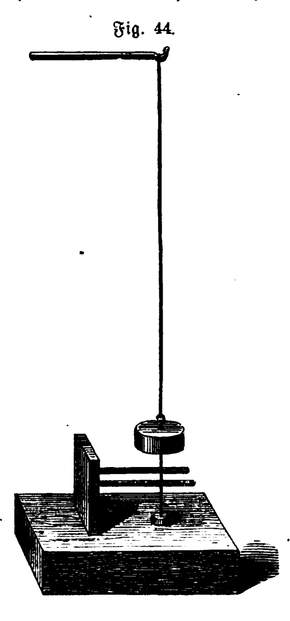
Fig. 43.



den neunten 9, den sechszehnten 16 und an den fünfundzwanzigsten, der 2 Cm. von dem höchsten Punkt der schiefen Ebene entfernt liegt, 25. Unter die schiefe Ebene legt man ein 1 Cm. hohes Klötzchen, 98 Cm. von ihrem tiefsten Punkt entfernt. Ehe man die Kugel, welche auf der Ebene hinabrollen soll, losläßt, hält man vor derselben, genau bei einem Theilstrich, ein schmales Brettchen; dasselbe hebt man schnell empor, um die Kugel loszulassen.

Außerdem bedarf man einer Vorrichtung, welche das Ende der einzelnen Secunden auf hörbare Weise angiebt, eines Secundenpendels (§. 63—§. 69.) mit hörbarem Schlage. Das Pendel besteht aus einem Gewicht und einer Schnur. Das Gewicht muß $^1/_2$, besser 1 ganzes Klgr. oder mehr wiegen. Um das Gewichtstück schürzt man einen Draht oder eine Schnur so, daß sich leicht oben und unten Etwas anbinden läßt. Oben an das Gewicht bindet man eine dünne, über 1 M. lange Schnur. Wählt man statt des Gewichts eine mit Bleischrot gefüllte Schachtel, so hat man nur nöthig, die Schnur unten mit einem Knoten zu versehen und sie mitten durch die beiden Böden der Schachtel hindurchzuziehen. Unten an dies Hauptgewicht wird ein dünner Faden gebunden, welcher ein kleines Schlaggewicht trägt. Als Schlaggewicht dient ein Knopf aus Horn oder Metall mit 4 Durchbohrungen, wie er nicht selten an Kleidungsstücken vorkommt; derselbe wird so an den Faden befestigt, daß er wagerecht schwebt und 9 Cm. von dem größeren Gewicht entfernt ist. Oben wird die Schnur des ganzen Pendels an ein passendes Gestell gebunden, z. B. an einen Stab, den man auf einen Schrank legt, und dem man durch darauf gelegte Bücher oder Bretter eine feste Lage giebt. Der Abstand von der unteren Kante des Stabes bis zur Mitte oder

Fig. 44.



dem Schwerpunkt des größeren Gewichts soll 99 Cm. betragen. Unter das frei hängende Secundenpendel stellt man einen Holzkasten, auf dem eine Gabel angebracht ist. Man befestigt auf eine Cigarrenkiste einen lothrechten, 6 Cm. hohen Träger und schiebt in diesen neben einander zwei glatte Drähte, etwa die beiden Hälften einer Stricknadel. Dieselben erhalten wagerechte Lage, sind beide gleich hoch, 5 Cm. über der Kiste, in den Träger eingeschoben und lassen zwischen sich einen Zwischenraum von 2 Mm. Die Kiste wird so unter das Pendel gestellt, daß der Faden des Schlaggewichts zwischen den Zinken der Gabel hängt, und das Schlaggewicht selbst, wenn das Pendel ruhig hängt, eben auf der hölzernen Kiste flach aufliegt. Beim Gebrauch bringt man das Hauptgewicht des Pendels so aus seiner Ruhelage, daß es, wenn es losgelassen wird, quer über die Gabel hinwegschwingt. Bei jeder Schwingung wird das Schlaggewicht gehoben und senkt sich, so oft die Schnur des Pendels lothrechte Stellung annimmt; dabei fällt es hörbar auf die Kiste und schlägt auf diese Weise Secunden; leicht ist zu erreichen, daß ein solches Pendel wenigstens 30 Secunden ausreichend vernehmbar angiebt. Statt der Gabel kann auch eine lothrecht aufgestellte kurze Röhre angewandt werden.

Nun stellt man an den untersten Punkt a der schiefen Ebene ein Klötzchen, läßt die dicht vor den ersten Theilstrich gelegte Kugel bei einem Schlag des Secundenpendels los und beobachtet, ob der nächste Schlag des Pendels genau mit dem Anschlagen der Kugel gegen das Klötzchen zusammenfällt. Schlägt die Kugel früher an, so ist die Ebene zu steil, und ihr höchster Punkt muß niedriger gelegt werden. Schlägt die Kugel zu spät an, so ist das Entgegengesetzte zu thun. Hat man der schiefen Ebene eine solche Höhe gegeben, daß Kugel und Pendel genau gleichzeitig anschlagen, so durchläuft die Kugel in der ersten Secunde eine Fallstrecke von 5 Cm. Darauf untersucht man, wie groß der Weg ist, den die Kugel in zwei Secunden zurücklegt. Man läßt das Klötzchen in a stehen und sieht zu, von wo die Kugel ihren Weg beginnen muß, damit am Ende der zweiten Secunde das Anschlagen des Pendels und der Kugel zusammenfallen. Es geschieht dies, wenn die Kugel bei dem mit 4 bezeichneten Theilstrich losgelassen wird. Durch Fortsetzung dieser Versuche findet man als Fallstrecke

für 1 Secunde	. .	1×5	Cm.,
„ 2 Secunden	. .	4×5	„
„ 3 „	. .	9×5	„
„ 4 „	. .	16×5	„
„ 5 „	. .	25×5	Cm.

Die Fallstrecken wachsen, wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100. Diese Zahlen heißen Quadratzahlen; für 1 Secunde ist die Quadratzahl $1 \times 1 = 1$, für 2 Secunden $2 \times 2 = 4$, für 3 Secunden $3 \times 3 = 9$, und so weiter für die größeren Fallzeiten. Es ergiebt sich als

erstes Fallgesetz: Die Fallstrecken, vom Anfang des Fallens an gerechnet, wachsen, wie die Quadratzahlen der Fallzeiten.

Die Kugel ist auf der schiefen Ebene in 2 Secunden 4×5 Cm. gefallen. Zieht man davon die Fallstrecke der ersten Secunde = 1×5 Cm. ab, so bleibt als Fallstrecke der zweiten Secunde 3×5 Cm. In 3 Secunden ist die Kugel 9×5 Cm. gefallen; in den 2 ersten Secunden ist sie 4×5 Cm. gefallen; folglich ist sie in der dritten Secunde 5×5 Cm. gefallen, in der vierten 7×5 Cm., in der fünften 9×5 Cm. Es ergeben sich als Fallstrecken

für die erste Secunde . . . . . 1×5 Cm.,
" " zweite " . . . . . . 3×5 "
" " dritte " . . . . . . 5×5 "
" " vierte " . . . . . . 7×5 "
" " fünfte " . . . . . . 9×5 Cm.

Zweites Fallgesetz: Die Fallstrecken der einzelnen Secunden wachsen, wie die ungeraden Zahlen.

Versuchsreihe b. Man fertige sich eine zweite Rinne ad, welche der ersten ähnlich, aber nur 52 Cm. (für eine fast doppelt so lange Rinne 102 Cm.) lang ist. Diese Rinne erhält wagerechte Stellung und wird an die schiefe Ebene geschoben oder durch ein Charnier mit ihr verbunden, und zwar so, daß eine die schiefe Ebene hinabrollende Kugel, ohne anzustoßen oder plötzlich hinabzusinken, ihren Weg auf der wagerechten Rinne fortsetzt. Dieselbe wird ebenfalls von a aus in Strecken von 5 Cm. getheilt. Man legt die Kugel dicht vor den ersten Theilstrich der schiefen Ebene, setzt das Secundenpendel in Bewegung und sieht zu, welchen Weg die Kugel in der zweiten Secunde in der wagerechten Rinne durchläuft. Die Kugel gelangt auf diese Rinne am Ende der ersten Secunde, und das gleichzeitige Anschlagen des Pendels und der Kugel gegen das Klötzchen erfolgt, wenn die Kugel einen wagerechten Weg von 10 Cm. durchlaufen hat. In der wagerechten Rinne wirkt auf die Kugel keine bewegende Kraft ein; nach dem Beharrungsgesetz behält sie aber die Geschwindigkeit bei, die sie am Ende der ersten Secunde hatte. Die Kugel hat in einer Secunde einen wagerechten Weg von 10 Cm. zurückgelegt. Der in 1 Secunde zurückgelegte Weg heißt Geschwindigkeit. Folglich hat die auf der schiefen Ebene fallende Kugel am Ende der ersten Secunde die Geschwindigkeit von 10 Cm. erlangt.

Dann läßt man die Kugel 4×5 Cm. auf der schiefen Ebene durchlaufen, so daß sie am Ende der zweiten Secunde auf die wagerechte Rinne übergeht. Sie legt auf dieser in der folgenden Secunde 20=2×10 Cm. zurück und offenbart dadurch, daß sie am Ende der zweiten Secunde die Geschwindigkeit von 2×10 Cm. hatte.

Läßt man die Kugel auf der schiefen Ebene 9×5 Cm. durchlaufen und am Ende der dritten Secunde auf die horizontale Rinne übergehn, so legt sie auf dieser in der folgenden Secunde 3×10 Cm. zurück; sie hat also am Ende der dritten Secunde die Geschwindigkeit von 3×10 Cm. erlangt.

Wie diese Versuche und ihre Fortsetzung lehren, beträgt die Geschwindigkeit der Kugel

am Ende der ersten Secunde	....	1×10 Cm.
„ „ „ zweiten „	....	2×10 „
„ „ „ dritten „	....	3×10 „
„ „ „ vierten „	....	4×10 „
„ „ „ fünften „	....	5×10 „

So ergiebt sich als

drittes Fallgesetz: Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers wächst ebenso, wie die Fallzeit.

Zugleich haben die angestellten Versuche gelehrt, daß die Fallstrecke der ersten Secunde 5 Cm. beträgt, die Geschwindigkeit aber am Ende der ersten Secunde 10 Cm. Daraus folgt als

viertes Fallgesetz: Die Fallstrecke der ersten Secunde ist die Hälfte von der Geschwindigkeit am Ende dieser Secunde.

Die Geschwindigkeit des fallenden Körpers ist bis zum Ende der ersten Secunde kleiner gewesen. Theilen wir die Secunde in 10 gleiche Theile, so hat die Kugel am Ende des ersten Zeittheils die Geschwindigkeit von 1 Cm., am Ende des zweiten Theiles von 2 Cm., nach 5 Zeittheilen oder in der Mitte der Secunde von 5 Cm. Von nun an wächst die Geschwindigkeit über 5 Cm.; sie ist am Ende des 6. Zeittheils 5 + 1 Cm. und wächst allmählich zu 5 + 2, 5 + 3, 5 + 4 und 5 + 5 Cm. Ist sie 3 Zeittheile vor der Mitte der Secunde um 3 Cm. kleiner, als 5 Cm., so ist sie 3 Zeittheile nach der Mitte der Secunde um 3 Cm. größer, als 5 Cm. Um wie viel die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in der ersten Hälfte der Secunde kleiner, als 5 Cm. ist, um ebensoviel ist sie in den ebenso weit nach der Mitte liegenden Zeittheilen größer, als 5 Cm. Der Erfolg ist derselbe, als hätte der fallende Körper die ganze Secunde hindurch die sich gleich bleibende mittlere Geschwindigkeit von 5 Cm. gehabt. Mit dieser Geschwindigkeit muß aber der Körper in der Secunde 5 Cm. durchlaufen, und die Fallstrecke der ersten Secunde muß 5 Cm. lang sein.

Mittels der schiefen Ebene hat Galiläi, Professor zu Pisa, im Jahre 1602 die Fallgesetze aufgefunden. Zwei Schüler Galiläis haben, indem sie von einem Thurm zu Bologna aus Kugeln hinabfallen ließen, zuerst dargethan, daß dieselben Gesetze auch von dem senkrechten Fall in der Luft, dem **freien Fall**, gelten. Bei demselben wirkt die Schwere ununterbrochen mit ihrer ganzen Kraft, während sie auf der schiefen Ebene mit einem Theil ihrer Kraft ununterbrochen thätig ist, und bringt ebenfalls eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung hervor. Ein fester Körper, dem die Luft keinen bedeutenden Widerstand leistet, legt, wie die Versuche lehren, beim freien Fall in der ersten Secunde eine Strecke von 5, genauer 4,9 M. zurück. Nach dem ersten Fallgesetz wachsen die Fallstrecken,

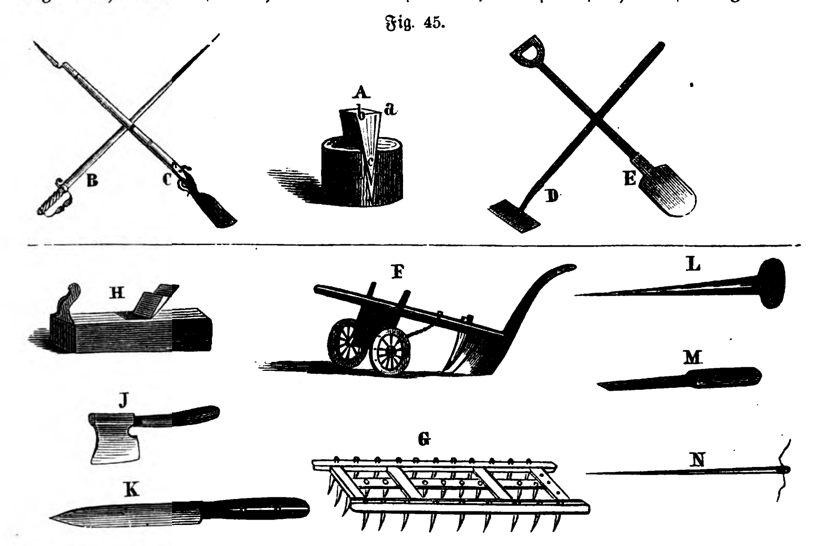
vom Anfang des Fallens an gerechnet, wie die Quadratzahlen der Fallzeiten. Ein frei fallender Körper fällt in 1 Secunde 1×5 M., in 2 Secunden 4×5 M., in 3 Secunden 9×5 M., in 4 Secunden 16×5 M. **Zweitens** wachsen die Fallstrecken der einzelnen Secunden, wie die ungeraden Zahlen. Ein lothrecht fallender Körper legt in der ersten Secunde 1×5 M., in der zweiten 3×5, in der dritten 5×5, in der vierten 7×5 M. zurück. **Drittens** wächst die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers ebenso, wie die Fallzeit. Die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers beträgt am Ende der ersten Secunde 1×10 M., am Ende der 2 ersten Secunden 2×10 M., am Ende der 3 ersten Secunden 3×10 M., am Ende der vierten Secunde 4×10 M. **Viertens** ist die Fallstrecke der ersten Secunde die Hälfte von der Geschwindigkeit am Ende dieser Secunde. Die Geschwindigkeit eines lothrecht fallenden Körpers beträgt am Ende der ersten Secunde 10 M. (genauer 9,8 M.), und die Fallstrecke der ersten Secunde beträgt 5 M. (genauer 4,9 M.).

V. Der Keil.

§. 38. Der Keil eine bewegliche schiefe Ebene.

Von einer schiefen Ebene wird angenommen, daß sie fest liegt und ihre Lage nicht ändert, während die Last durch die Kraft hinaufbewegt wird.

Fig. 45.



Umgekehrt kann aber auch die schiefe Ebene beweglich sein; dann greift die Kraft an dieselbe an und sucht sie unter die Last oder in die Wider-

stand leistenden Körper hineinzutreiben. Eine bewegliche schiefe Ebene heißt ein Keil. Der Keil wird, wenn man ihn, wie es häufig geschieht, zum Spalten des Holzes gebraucht, mit seiner einen Kante, der Schneide oder Schärfe des Keils, in die Spalte des Holzes eingesetzt und durch Schläge oder Stöße mittels eines Hammers zwischen die Widerstand leistenden Holztheile weiter hinein getrieben. Die der Schneide gegenüber liegende Fläche, auf welche die Kraft wirkt, (Fig. 45 A.) heißt der Rücken des Keils ab. Die schrägen Seitenflächen werden die Seiten des Keils genannt und pflegen gleich lang zu sein.

Weil der Keil eine bewegliche schiefe Ebene ist, entspricht die Länge seiner Seiten der Länge der schiefen Ebene; der Rücken des Keils übernimmt die Stelle der Höhe an der schiefen Ebene. Je schmaler daher der Rücken, oder je schärfer der Keil ist, desto geringere Kraft erfordert er. So oft der Rücken des Keils in der Länge seiner Seiten enthalten ist, ebenso oft muß die Kraft in dem Widerstande enthalten sein. Ist der Rücken 1 Cm. breit, während jede Seite eine Länge von 20 Cm. hat, so muß die Kraft dem zwanzigsten Theile der Last oder des Widerstandes gleich sein. Dafür muß man aber auch desto länger arbeiten, um die Theile des Holzes weit genug zu trennen, und verliert so am Wege oder an Zeit. Allein der Bewegung des Keils stellen sich noch zwei bedeutende Reibungen entgegen, welche meistens eine fünfmal so große Kraft nöthig machen und bei dem eben erwähnten Keile mindestens eine Kraft erheischen, die, statt $1/_{20}$, $5/_{20} = 1/_4$ des Widerstandes gleichkommt. Sonach besteht eine bedeutende Unvollkommenheit des Keils darin, daß der größte Theil der angewandten Arbeit durch Reibung verzehrt wird, und daß seine Leistung gewöhnlich nur ein Fünftel von der Arbeit ausmacht, die auf seine Bewegung verwandt wird.

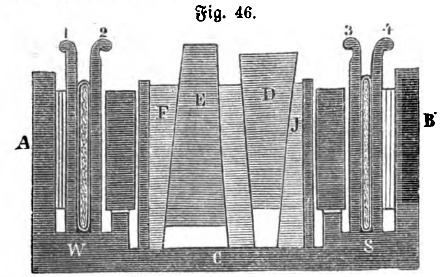
Anwendungen des Keils. Weil der Keil eine einfache, leicht anzufertigende Maschine ist, wird von ihm sehr häufig Anwendung gemacht. Er dient zum Heben schwerer Lasten, zur Ausübung eines bedeutenden Drucks, zum Spalten und Schneiden, und endlich als Befestigungsmittel.

a. Zum Heben schwerer Lasten bedient man sich der Keile auf den Werften, wo sie unter die Schiffe getrieben werden, um dieselben emporzuheben. Unter die Balken eines Gebäudes suchen die Zimmerleute ebenfalls Keile zu treiben, wenn sie sich etwas gesenkt haben. Soll der Deckel einer Kiste, an welchem man die Nägel auszuziehen vergebens versucht hat, emporgehoben werden, so sucht man unter ihn einen Meißel zu treiben, der nichts Anderes ist, als ein eiserner Keil. Der Kopf einer gewöhnlichen Nagelzange besteht aus zwei Keilen, die unter den Kopf des auszuziehenden Nagels geschoben werden müssen; der Nagel wird dadurch emporgehoben.

b. Zur Ausübung eines bedeutenden Druckes wird in unsern Oelmühlen die Keilpresse gebraucht. Ein sehr starkes hölzernes Gestell ABC enthält zwei Kammern W und S, aus denen das Oel in passende Behälter gelangen kann. Der zerstampfte Oelsame wird in

leinene und in grobe, aus Pferdehaaren gefertigte Tücher eingeschlagen, zwischen je zwei senkrechte Eisenplatten gelegt, und diese über die Kammern gebracht. Nach dem Einbringen des Oelsamens werden Holzplatten neben die Eisenplatten gelegt, und ihnen zur Seite ein Keil E angelegt, welcher der Lösekeil heißt und seine Schneide nach oben wendet. Nachdem rechts an den Lösekeil eine starke Holzplatte geschoben ist, wird der Preßkeil D mit dem Rücken nach oben eingesetzt, rechts von ihm befindet sich wieder eine Holzplatte J. Das Gestell ist so stark, daß es auf keiner Seite dem Drucke nachgiebt. Durch eine gewöhnlich von Wasserkraft getriebene Maschine wird ein schwerer Balken oder Hammer emporgehoben und fällt auf den Rücken des Preßkeils nieder; der Preßkeil sinkt abwärts und preßt beide Paar Eisenplatten zusammen. Ist das Oel ausgepreßt, so läßt man den Hammer auf die abgestumpfte Schneide des Lösekeils schlagen; dadurch wird die Zusammenstellung der Keile aufgelöst, sie fallen zu Boden, und es kann von Neuem Oelsamen eingebracht werden. Sehr vortheilhaft ist es, wenn man die große Reibung, welche diese Maschine zu einer unvollkommenen macht, dadurch veringert, daß man die Keile und Holzplatten nicht, wie es hin und wieder geschieht, mit Wasser benetzt, sondern mit Fett einschmiert.

Fig. 46.



c. Beim Spalten und Schneiden wirkt der Keil als Trennungsmittel und sucht den Zusammenhang der zu trennenden Körpertheile zu überwinden. Beil und Axt, mit denen wir Holz spalten, sind eiserne Keile; ein Messer schneidet desto besser, je dünner sein Rücken ist, bedarf aber doch einer gewissen Stärke, damit es nicht zerbreche; auch unsere Zähne haben, damit sie die Speisen leichter zerkleinern, die Form von Keilen. Der Landmann gebraucht unter den Namen des Spatens und der Pflugschaar metallene Keile, um das zusammenhaltende Erdreich zu zertheilen, und seine Egge ist ganz mit Keilen besetzt, die abwärts drückend und vorwärts gezogen die Erdschollen spalten. Der Schneider bedient sich eines abgerundeten Keils, der Nähnadel, und der Scheere, deren schneidende Hebelarme keilförmig zugeschärft sind. Der Bildhauer trennt mit seinem keilartig gestalteten Meißel Stücke des Marmors los; dem Tischler ist in dem Hobel ein schräg liegender Keil zur Hand, und seine Säge mit ihren Zähnen bildet eine lange Reihe von Keilen. Das Hauptwerkzeug des Schlossers, die Feile, ist auf ihren wirksamen Seiten ganz und gar mit Keilen besetzt, welche die Form kleiner Pyramiden haben. Der Reiter führt seine Sporen, und der Krieger seinen Säbel und sein Bajonnet, Alles keilartige Werkzeuge, bei sich.

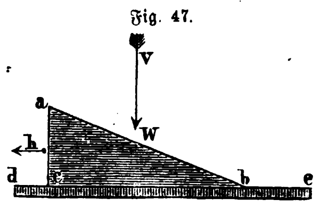
d. Als Befestigungsmittel wirkt jeder eingeschlagene Nagel, dessen Keilform das Eintreiben erleichtert, und den die Reibung festhält;

Tuchnadeln sind kleine, runde Keile, die wegen der Reibung in dem Zeuge festsitzen, und von den keilförmigen Zinken der Gabel gleiten Fleischspeisen nicht ab, wenn eine hinreichende Reibung sie zurückhält. Korkpfropfen stellen runde, elastische Keile dar; beim Einschieben in den Hals der Flasche werden sie allmählich zusammengedrückt, wegen der Reibung sitzen sie fest, und wegen ihrer Elasticität suchen sie sich wieder auszudehnen und schließen genau nach allen Seiten. Der Buchdrucker gebraucht kleine Holzkeile zum Aneinanderpressen der Lettern; der Tischler, um die Hobeleisen in ihrem Gestell festzuhalten; der Matrose stellt die Masten fest, indem er rings um sie Keile eintreibt; der Musiker dreht die keilförmigen Wirbel der Saiteninstrumente und hofft, daß die Reibung stärker sei, als die Kraft der sich wieder zusammenziehenden Saite. An einem Gewölbe machen die Bausteine Reihen von Keilen aus, die sich an den Seiten an unbeweglich feste Pfeiler lehnen; da sie als Keile auf einander einen Druck ausüben und um so fester sitzen, sind sie im Stande, eine bedeutende Last zu tragen. Wo endlich die Pflanzen, sei es mit dem jungen Keim oder mit den Wurzeln, das Erdreich zu durchbrechen haben, da finden wir die Form des Keils angewandt, und bei den Wurzeln sehen wir die festhaltende Reibung zu Hülfe genommen.

§. 39. Die Wirkung einer schief angreifenden Kraft.

Wenn die Zimmerleute einen Keil oder genauer einen halben Keil unter einen lothrechten Balken treiben, um denselben emporzuheben, dann kommt es vor, daß der Keil zurückspringt. Auf dem halben Keil abc lastet das lothrecht, in der Richtung des Pfeiles vw, wirkende Gewicht des Balkens. Diese Kraft trifft unter schiefen Winkeln vwa und vwb die Seite ab des (halben) Keils. Ist die den Keil festhaltende Reibung zu gering, so wird er rückwärts, d. h. in der Richtung des Pfeiles h, der Richtung von der Schneide nach dem Rücken des Keils, bewegt. Die lothrecht, aber schief angreifende Kraft bringt eine Bewegung in wagerechter Richtung hervor.

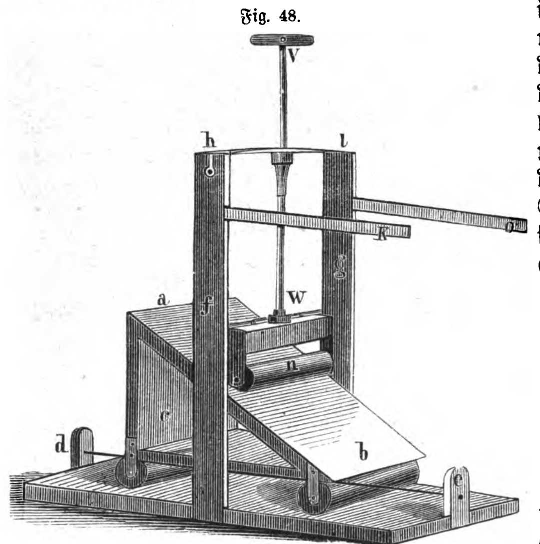
Fig. 47.



Versuch a. Diese Erscheinung kann man sich mit Hülfe folgender Vorrichtung vor Augen führen. Ein leicht beweglicher, auf zwei Walzen ruhender halber Keil abc ist auf ein wagerechtes Brett gestellt zwischen die beiden lothrechten Ständer f und g, die in das Brett eingelassen und oben durch eine Querstange hl verbunden sind. Die Querstange ist durchbohrt, und durch die Bohrung ist ein lothrechter Stab vw geschoben; er läßt sich mit möglichst geringer Reibung auf- und niederbewegen, trägt oben bei v eine wagerechte Scheibe und läuft unten in zwei Arme aus, die eine Walze n tragen; links von den Ständern f und g, bei w, trägt der Stab vw eine wagerechte dünne Stange (oder Walze), die dem Stabe vw lothrechte Bewegung sichert. Die untere Fläche des Keils cb ist mit zwei

Oesen versehen, die mit geringer Reibung auf dem Drahte de hin- und hergleiten. Bewegt man nun den Stab vw durch die Hand oder durch ein auf die Scheibe v gelegtes Gewicht lothrecht abwärts, so bewegt sich der Keil abc in wagerechter Richtung rückwärts nach d. Die den Stab vw hinabdrückende Kraft greift in lothrechter Richtung, parallel mit dem Rücken ac des Keils an, sie trifft die Seite des Keils ab unter schiefen Winkeln. Daraus ergiebt sich:

Fig. 48.



> Die Richtung, in welcher eine schief angreifende Kraft einen Körper bewegt, ist verschieden von der Richtung, welche die Kraft hat.

Und zwar hat unser Versuch uns noch bestimmter gelehrt: Wenn die schräge Seite eines beweglichen Keils von einer mit seinem Rücken parallelen Kraft getroffen wird, so bewegt sie den Keil rückwärts; vorausgesetzt ist dabei, daß die Kraft hinreichend groß ist.

Nun hat die Betrachtung der schiefen Ebene gelehrt, daß die lothrechte Kraft vw auch einen lothrechten Druck auf den Körper acd ausübt. Die Leistung einer schief angreifenden Kraft zertheilt sich daher in zwei Wirkungen. Gewöhnlich beabsichtigt man nur die eine, und der Theil der Kraft, welcher die andere Wirkung hervorbringt, geht verloren.

> Eine Kraft übt nur dann ihre ganze Wirkung gegen eine Fläche aus, wenn sie dieselbe rechtwinklig trifft; von der Leistung einer schief angreifenden Kraft geht ein Theil verloren.

Oft kann man aber die Richtung einer Kraft nicht ändern, und es genügt zu der beabsichtigten Wirkung ein Theil der Kraft. Dieser Fall tritt besonders bei der Benutzung des Windes ein.

Versuch b. Wir legen unsere Vorrichtung auf die eine Seite, so daß der Ständer lg wagerecht auf dem Tische ruht, und der Ständer f wagerecht oben liegt. Dann hat die Kraft vw wagerechte Richtung und bewegt den Keil rückwärts in der wagerechten Richtung bc.

Wenden wir das auf ein Schiff an, welches nach m gelangen soll, während der Wind die (wagerechte) Richtung vw hat. Der Schiffer giebt dem Segel die Stellung ad. Die Fläche des Segels ist dann ähnlich

der Seite eines Keils und wird unter schiefen Winkeln vom Winde getroffen. Denken wir uns den Keil vollständig, so ist sein Rücken ac parallel mit vw; der Keil würde sich von b nach c bewegen. In dieser Richtung bewegt sich das Schiff.

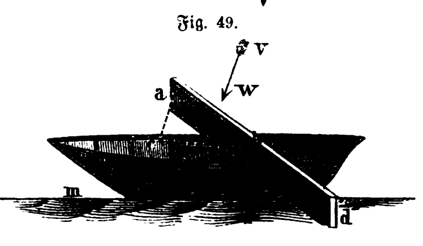


Fig. 49.

Versuch c. Wir geben ferner unserer Vorrichtung eine solche Stellung, daß die Punkte k und o der Querarme und der Punkt e auf dem Tische ruhen, und d oben liegt. Dann liegt der Rücken des Keils ac oben, seine Seite ab ist schräg gegen den Horizont gestellt, und die Kraft vw hat wagerechte Richtung. Der Keil bewegt sich nach oben.

Ein ganz ähnlicher Fall tritt bei dem Papierdrachen ein, den die Kinder steigen lassen. Der Drache muß schräg in der Richtung ab hängen, wenn er steigen soll, vw stelle die Kraft des Windes dar. Wir denken uns die schräg getroffene Fläche ab als Seite eines Keils, dessen Rücken mit vw parallel ist und oben in ac liegen muß. Der Keil und ebenso der Drache bewegen sich nach oben. Aehnlich ist der Vorgang bei Bewegung eines Windmühlenflügels; derselbe kann bei wagerechter Stellung der Windruthe dieselbe Stellung haben, wie der Papierdrache.

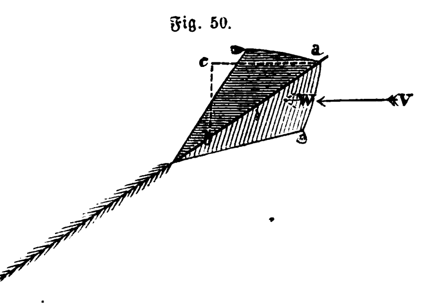


Fig. 50.

VI. Die Schraube.

§. 40. Die Schraube eine gewundene schiefe Ebene.

Gebirgswege, die auf den Gipfel eines einzeln stehenden Berges hinaufführen, findet man nicht selten in der Weise angelegt, daß sie, stets aufsteigend, mehrere Mal um den Berg herumführen; sie bilden schiefe Ebenen, die sich um den Berg herum winden. Wie ferner jede Treppe als schiefe Ebene mit Stufen anzusehen ist, so sind auch Wendeltreppen schiefe Ebenen, die sich winden und ebenfalls sich nicht bewegen lassen. Aehnlich giebt es aber auch gewundene schiefe Ebenen, die beweglich sind.

Versuch. Man schneide ein Stück Papier dergestalt, daß es eine dreieckige Form erhält, und seine schräg aufsteigende Seite eine schiefe Ebene darstellt, deren Höhe bedeutend geringer sein mag, als ihre Länge. Mit

derjenigen Seite, welche die Höhe bildet, lege man diese schiefe Ebene auf einen Cylinder oder einen abgerundeten Bleistift und wickle oder winde sie um denselben. Die schiefe Ebene wird dann eine Schraubenlinie bilden. Eine Schraube oder Schraubenspindel ist eine um einen Cylinder gewundene schiefe Ebene. Jede vollständige Windung der schiefen Ebene um ihren Cylinder heißt ein Schraubengang; läuft also eine schiefe Ebene genau viermal um einen Cylinder, so entsteht eine Schraube mit vier Schraubengängen. Der Abstand zweier Schraubengänge oder die Höhe der schiefen Ebene, die jeder einzelne Schraubengang bildet, heißt die Höhe eines Schraubenganges. Zu einer Schraubenspindel gehört meistentheils noch eine Schraubenmutter; diese ist ein kurzer, hohler Cylinder, innerhalb dessen sich eine schiefe Ebene hinaufwindet; ihre Schraubengänge sind vertieft oder eingeschnitten und passen genau auf die erhabenen Gänge der Schraubenspindel.

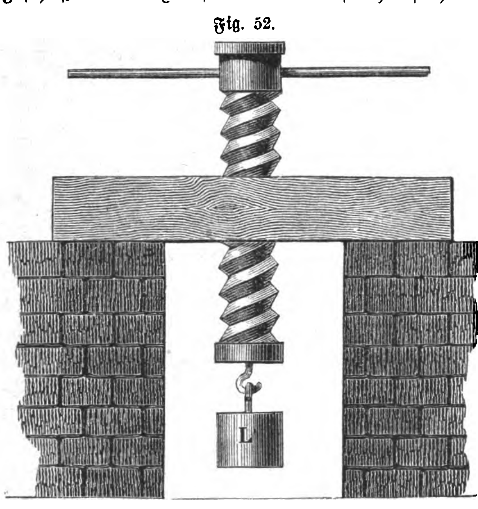
Fig. 51.

§. 41. Die Anwendungen der Schraube.

Die Schraube hat das mit dem Keil gemein, daß sie eine bewegliche schiefe Ebene ist; sie findet deshalb eine gleiche Anwendung zur Hervorbringung einer Bewegung, zur Ausübung eines bedeutenden Druckes und als Befestigungsmittel, und ist für die zwei letzteren Anwendungsarten dem Keil vorzuziehen. Nur sein Gebrauch zum Spalten und Schneiden ist dem Keil eigenthümlich.

a. Die Bewegungsschraube. Wenn die Zimmerleute in dem Erdgeschoß eines Hauses einen aufrecht stehenden Balken wegnehmen wollen, von welchem das obere Stockwerk getragen wird, so schrauben sie die getragenen Balken etwas höher. Sie nehmen eine große hölzerne Schraube und drehen die Spindel in die Mutter hinein; darauf stellen sie die Schraube lothrecht unter die emporzuhebende Wand und schieben unter die Schraubenmutter Balken, so daß sie darauf unbeweglich festliegt. Durch den obern Theil der Spindel, den Schraubenkopf, wird ein Hebel geschoben, und damit die Spindel in angemessener Richtung umgedreht; dann steigt die Spindel lothrecht aus der Mutter hervor, hebt die auf ihr ruhende Last allmählich empor und ist, durch die Reibung festgehalten, im Stande, sie einstweilen zu tragen.

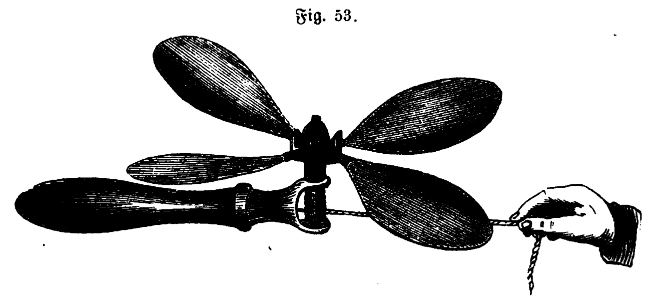
Fig. 52.



Wird die in der Zeichnung dargestellte Schraubenspindel links herum, d. h. in der der Bewegung eines Uhrzeigers entgegengesetzten Richtung, gedreht, so wird die Last L emporgehoben.

Bewegungsschrauben sind auch die Luftschraube und die Schiffsschraube. Ueber letztere vergl. §. 385. Die abgebildete Luftschraube hat folgende Einrichtung. An einen kurzen Cylinder von Holz sind unten zwei sich unter rechten Winkeln kreuzende Blechstreifen geschraubt, an deren jeden eine schräg stehende Pappscheibe befestigt ist. Die 4 Pappscheiben,

Fig. 53.



welche eine den Windmühlenflügeln ähnliche Stellung haben, bilden Theile eines Schraubenganges. Die 4 Blechstreifen passen in die Ausschnitte einer lothrechten Walze, die durch einen umgewickelten Bindfaden in schnelle Drehung gesetzt werden kann. Geschieht dies, so wird auch die Luftschraube umgedreht, löst sich aus und steigt in der Luft empor. Sie schraubt sich in der Luft, die etwas Widerstand leistet, empor, wie ein Korkzieher sich in den Pfropfen hinabbewegt. Hält man die umzudrehende Axe wagerecht, so bewegt sich die Schraube in wagerechter Richtung. Die Luftschraube hat man versucht bei der Luftschiffahrt anzuwenden.

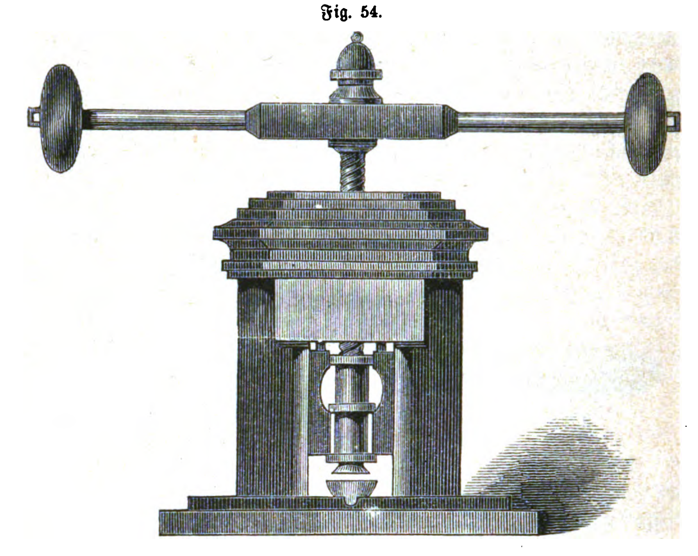
b. Die Schraubenpressen. Wie überhaupt bei Anwendung einer Schraube entweder die Mutter befestigt ist, und die Spindel sich hebt oder senkt, oder die Spindel befestigt ist, und die Mutter sich vorwärts bewegt, so giebt es Schraubenpressen mit beweglicher Spindel oder mit beweglicher Schraubenmutter.

Die Buchdruckerpresse enthält an dem obern, an das Gestell befestigten Querriegel die Schraubenmutter; die Spindel läßt sich durch einen Hebel umdrehen und dadurch auf- und abbewegen; unten drückt sie auf ein bewegliches Brett und preßt das zu bedruckende Papier auf die darunter gesetzten Lettern. Ebenso wird die Spindel abwärts bewegt in den Stoßprägemaschinen (Fig. 54). In die Papiermacherpresse wird unter das bewegliche Brett die Papiermasse gelegt, aus welcher das Wasser gepreßt werden soll. Oliven- und Weinpressen haben unter dem beweglichen Brette einen durchlöcherten Kasten, in welchen die Früchte gethan werden.

Schraubenpressen mit beweglicher Schraubenmutter sind die Buchbinderpresse, die zum Pressen von Büchern bestimmt ist, und die Kartenpresse; lothrecht auf einem Brette stehen zwei Spindeln, über dieselben

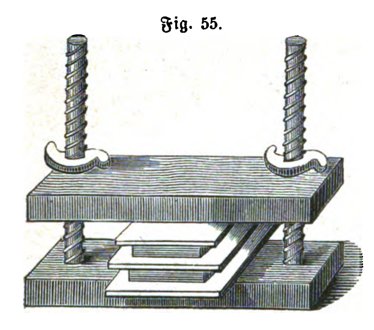
wird ein bewegliches Brett geschoben, und auf jede Spindel eine Flügelschraube, eine mit Handgriffen versehene Mutter, geschraubt; beim Anziehen

Fig. 54.



derselben wird das bewegliche Brett gegen die untergelegten Bücher oder Spielkarten gepreßt.

Fig. 55.

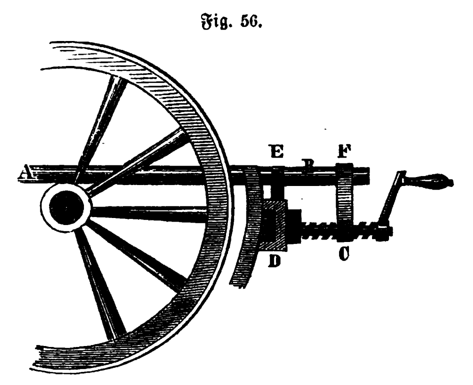


c. Die Befestigungsschraube. Als Befestigungsmittel gebraucht, gewährt die Schraube eine größere Sicherheit, als der Keil, und läßt sich, wenn es erforderlich wird, leichter wieder herausziehen. Die gewöhnlichen Holzschrauben, wie man sie zum Befestigen der Thürschlösser nimmt, sind von Metall und bohren sich in dem Holze selbst eine passende Mutter; ihr Kopf ist rund und mit einem Einschnitt versehen, in diesen wird der einem Meißel ähnliche Schraubenzieher gesetzt und umgedreht. Die Reibung ist es, welche die eingezogene Spindel festhält. Den Holzschrauben ähnliche Spindeln finden wir in jeder Uhr, an jeder Flinte, an vielen Instrumenten. Der Pfropfenzieher ist ein schraubenförmig gewundener Keil, die Keilform erleichtert das Eindringen in den Kork, und die Schraubenform vergrößert für eine aufwärts ziehende Kraft die Reibung dermaßen, daß der Kork hinreichend an den Pfropfenzieher befestigt ist. An die Wagenaxen werden Schraubenmütter angeschraubt, um das Abgleiten der Räder von der Axe zu verhindern; sie sind viereckig und werden mittels des Schraubenschlüssels, eines eisernen Hebels, der an dem einen Ende eine über die

Schraubenmutter passende Oeffnung hat, umgedreht; wegen der Reibung sitzen sie fest, und wenn das Wagenrad sie mit umdreht, werden sie dadurch noch fester angeschraubt. Auch giebt es Anwendungen der Schraube, bei denen wir nicht unmittelbar bloß die Reibung der Spindel gegen die Mutter benutzen, sondern einen großen Druck bewirken und dadurch nach §. 34a. eine beträchtliche Reibung gegen einen andern Gegenstand hervorbringen. An dem Retortenhalter (§. 232.) stellen wir den Querarm mit Hülfe einer Schraube hoch oder niedrig; wir pressen die Spindel gegen den lothrechten Träger, und die dadurch verstärkte Reibung hemmt das Hinabgleiten des wagerechten Armes. So preßt der Schlosser die zu bearbeitenden Metallstücke durch Anziehen einer Schraube zwischen die Theile eines Schraubstocks oder Feilklobens, und der Tischler legt in ähnlicher Weise Bretter auf seiner Hobelbank fest. Auch die Bremswerke werden durch Schrauben gegen die Wagenräder gepreßt.

Für das Schleifzeug oder die Backenbremse an den Fuhrwerken in Gebirgsgegenden wird eine Druckschraube mit beweglicher Spindel angewandt. Vor den Hinterrädern des Wagens ragt aus dem Gestell desselben ein Balken AB hervor, und an sein Ende ist ein lothrechtes Stück FC befestigt, in welchem sich die Schraubenmutter für die wagerecht liegende Spindel befindet. Die Spindel ist an ihrem Kopfe mit einer Kurbel versehen; ihr anderes, den Wagenrädern zugekehrtes Ende ist drehbar in einen Halsring eingesetzt, und dieser ist an den Bremsbaum D befestigt. Der Bremsbaum hängt in der Höhe der Wagenaxen, quer über die ganze Breite des Wagens, an eisernen Ringen E, die sich an dem Gestell desselben verschieben lassen; nahe dem Umfang der Räder trägt der Bremsbaum eiserne Bogenstücke von gleicher Krümmung mit den Rädern. Werden die Eisen durch die Schraube beim Bergabfahren vorgedrückt, so wird die wälzende Reibung der Räder in eine gleitende verwandelt (§. 33), und so, ohne daß das Fuhrwerk still zu halten braucht, dem gefährlichen Zunehmen seiner Geschwindigkeit vorgebeugt.

Fig. 56.



§. 42. Leistung der Schraube.

Weil die Schraube eine schiefe Ebene ist, muß nach §. 30 auch von ihr die goldene Regel gelten, und es wird eine desto kleinere Kraft erfordert, je größer der Weg derselben, und je kleiner der Weg der Last sein soll. Nun wird bei der Hebeschraube durch eine Umdrehung die Last um die Höhe eines Schraubenganges gehoben; soll die Last nicht so hoch

gehoben werden, und sind deshalb die Schraubengänge niedriger, so wird weniger Kraft erfordert. Macht ferner die Kraft einen größeren Weg, ist der Hebelarm länger, an dem sie die Schraube umdreht, so wird ebenfalls an Kraft gewonnen.

Gesetzt, die Gänge einer großen Schraube seien 1 Cm. hoch, und die Kraft wirke an einem Hebelarm von 1 M., von der Axe der Spindel aus gerechnet, wie groß wird, abgesehen von der Reibung, die Kraft im Vergleich zur Last sein müssen? Bei einer Umdrehung der Schraube durchläuft die Kraft einen kreisförmigen Weg, dessen Halbmesser 1 M. oder 100 Cm. lang ist. Jede Kreislinie ist aber $^{314}/_{50}$ Mal so lang, als sein Halbmesser; der kreisförmige Weg der Kraft ist demnach $^{314}/_{50} \times 100 = 628$ Cm. lang. Die Last wird, weil jeder Schraubengang 1 Cm. hoch ist, bei einer Umdrehung nur 1 Cm. gehoben; die Kraft macht also einen 628 Mal so großen Weg; folglich braucht sie nur dem 628. Theil der Last gleich zu sein. Allein an der Schraube tritt eine sehr beträchtliche Reibung ein, welche $^3/_4$ der angewandten Arbeit verzehrt und nur $^1/_4$ derselben auf die Last wirken läßt; man hat darum eine viermal so große Kraft, in jenem Beispiel $^4/_{628} = {}^1/_{157}$ von der Last, aufzuwenden.

§. 43. Rückblick auf die Gruppe der schiefen Ebene.

Die zweite Gruppe der einfachen Maschinen läßt sich auf die Gesetze der schiefen Ebene zurückführen und bildet **die Gruppe der schiefen Ebene.** Während die schiefe Ebene selbst unbeweglich festliegt, ist der Keil eine bewegliche, und die Schraube eine gewundene schiefe Ebene. Je kleiner bei diesen Maschinen der Weg der Last, das heißt, die Höhe der schiefen Ebene, der Rücken des Keils oder die Höhe eines Schraubenganges, im Vergleich zu dem von der Kraft durchlaufenen Wege ist, desto kleiner braucht die Kraft im Vergleich zur Last zu sein. Zugleich ist diesen Maschinen eine bedeutende Reibung gemeinsam, welche einen sehr großen Theil der Kraft zu ihrer Ueberwindung erfordert und dadurch ihre Leistungen um mehr als die Hälfte verringert. Ueberschauen wir sämmtliche einfachen Maschinen, so ergiebt sich folgende Uebersicht:

I. **Die Gruppe des Hebels.**
   1. Der gewöhnliche Hebel.
   2. Die Rolle.
      a) Feste Rolle (beständiger Hebel mit gleichen Armen).
      b) Bewegliche Rolle (beständiger Hebel mit doppelt so langem Arm der Kraft).
   3. Das Wellenrad (beständiger Hebel mit bedeutend längerem Arm der Kraft).

II. **Die Gruppe der schiefen Ebene.**
   1. Die festliegende schiefe Ebene.
   2. Der Keil (die bewegliche, nicht gewundene schiefe Ebene).
   3. Die Schraube (die bewegliche, gewundene schiefe Ebene).

Die Zwischenmaschinen.

§. 44. Der Zweck des Maschinenbaues.

Handwerker und Künstler gebrauchen zur Ausführung von Arbeiten, welche die Menschenhand unmittelbar nicht vollbringen kann, Werkzeuge oder Instrumente. Die Kraft der Hände setzt das Werkzeug in Bewegung, und dies verrichtet die mechanische Arbeit. Unter Instrumenten oder Werkzeugen sind daher Vorrichtungen zu verstehen, die zur Ausführung mechanischer Arbeiten durch Menschenhände dienen. Die Arbeiten, welche durch Werkzeuge an den zu bearbeitenden Stoffen vorgenommen werden, verwandeln dieselben in Waaren, die verkauft werden, oder in Gegenstände, an denen die Arbeit bezahlt wird.

So lassen sich auch die übrigen Kräfte, die uns zu Gebote stehen, mit Hülfe von Maschinen in den Stand setzen, mechanische Arbeiten auszuführen, welche man zu einem gewissen Preise einzutauschen gewohnt ist. Die Schwerkraft, durch welche das Wasser eines Baches abwärts getrieben wird, die Kraft des Wasserdampfes, in welchen die Wärme das Wasser verwandelt, die Zugkraft der Pferde lassen sich so umgestalten, daß sie Getreide mahlen, Wolle spinnen, Bretter sägen. Durch eine Maschine wird also eine Kraft in den Stand gesetzt, mechanische Arbeiten von Werth auszuführen.

§. 45. Die Haupttheile einer zusammengesetzten Maschine.

Die zusammengesetzten Maschinen entstehen durch zweckmäßige Zusammenstellung von einfachen Maschinen. Nach ihrer Stellung und Beschaffenheit haben diese eine dreifache Bestimmung, so daß jede zusammengesetzte Maschine aus drei Haupttheilen besteht. An den ersten Maschinentheil greift nämlich die bewegende Kraft unmittelbar an und setzt ihn in Bewegung. An einer Wassermühle wirkt die Kraft des Wassers unmittelbar auf die Schaufeln des Wasserrades und setzt es sammt seiner Welle in Bewegung. Diesen, zur Aufnahme der Kraft bestimmten Maschinentheil nennt man die Kraftmaschine. Ein anderer Theil der Maschine dient zur unmittelbaren Verrichtung der Arbeit, wie es in der Mühle der umlaufende Mühlstein ist, der das Korn zermahlt, und heißt die Arbeitsmaschine. Ein dritter Theil von Maschinen ist zwischen der Kraftmaschine und der Arbeitsmaschine angebracht und leitet die Bewegung von der Kraftmaschine zur Arbeitsmaschine fort; dieser Theil der Maschine, der bei der Mühle aus gezahnten Wellenrädern besteht, führt den Namen der Zwischenmaschinen.

§. 46. Die Pferdekraft als Maß für die Leistungen großer Maschinen.

Die Leistung einer größeren Maschine pflegt man, um große Zahlen zu vermeiden, nicht nach Klgr=M. (§. 16) anzugeben, sondern nach Pferdekräften. Als nämlich die Dampfmaschinen in England zuerst in Anwendung kamen, wurden sie gebraucht, um Pumpen oder Mühlen in Bewegung zu setzen, bei welchen man früher Pferde als bewegende Kraft benutzt hatte. Fabrikherren und Bergwerksbesitzer gaben an, wie viel Pferde sie bisher zum Betrieb ihrer Arbeit nöthig gehabt, und verlangten Dampfmaschinen, welche in derselben Zeit dieselbe Arbeit leisteten. Deshalb stellte Watt, welchem die Dampfmaschinen ihre jetzige Vollkommenheit verdanken, mit den in den Londoner Brauereien arbeitenden starken Pferden Versuche über ihre Leistungen an und untersuchte, wie viel Klgr. sie (an einer Vorrichtung, wie der in §. 23 gezeichneten, ziehend) bei achtstündiger Arbeit in jeder Sekunde 1 M. hoch zu heben vermochten. Um aber ganz sicher zu sein, daß seine Dampfmaschinen das Geforderte leisteten, wählte Watt das Maß für die Leistung seiner Maschinen größer, stellte es auf 75 Klgr=M. fest und nannte es eine Pferdekraft. Eine Pferdekraft ist mithin eine Arbeit oder Leistung von 75 Klgr=M. in einer Sekunde.

§. 47. Die richtige Ansicht von den Leistungen der Maschinen.

Es ist ein weit verbreiteter Irrthum, wenn man meint, durch irgend eine Zusammenstellung von Hebeln, Rädern oder andern einfachen Maschinen Leistungen hervorzubringen, welche die ursprüngliche Leistung der Kraft weit übertreffen. Irriger Weise bildet man sich ein, wenn an einem Theile einer großen Maschine eine Kraft mit der Leistung einer Pferdekraft wirke, so könne die Maschine mit einem andern ihrer Theile vielleicht gar eine Leistung von zwanzig Pferdekräften ausüben.

An jeder zusammengesetzten Maschine sind die wirkenden Theile einfache Maschinen. Keine einfache Maschine kann aber, wie sich gezeigt hat, die Leistung der Kraft vergrößern; soll eine einfache Maschine eine Arbeit von einer Pferdekraft leisten, so muß die an ihr wirkende Kraft mindestens eine Leistung von einer Pferdekraft vollbringen. Die erste einfache Maschine, an welche die Kraft selbst angreift, überträgt nun ihre Leistung von einer Pferdekraft auf die folgende einfache Maschine. Diese würde, wenn kein Arbeitsverlust einträte, gerade eben so viel leisten, als ihr übertragen ist, und könnte daher, wenn ihre Leistung in der Bewegung eines dritten Maschinentheils besteht, diesen nicht zu einer größeren Leistung in den Stand setzen, als zu der von einer Pferdekraft. Sodann ist noch auf die Reibung der Maschinentheile Rücksicht zu nehmen, durch deren Ueberwindung ein großer Theil von der ursprünglichen Leistung der Kraft verzehrt und verloren wird. Der Keil leistet nur $1/5$, die Schraube $1/4$, und selbst ein sorgfältig gearbeiteter Flaschenzug kaum $5/6$ von dem, was

die an ihnen arbeitende Kraft vollbringt. Außer dem als Wage dienenden, auf Schneiden ruhenden Hebel giebt es keine einzige weder einfache, noch zusammengesetzte Maschine, welche, wenn sie mit einer Pferdekraft bewegt wird, wieder eine Pferdekraft leistet. Vielmehr gelten solche Maschinen als sehr gute, die $^4/_5$ oder auch nur $^1/_2$ von der Leistung der Kraft wiedergeben; und es giebt nicht wenige Maschinen, die wegen ihres fehlerhaften Baues nicht mehr, als den zehnten oder zwanzigsten Theil von dem leisten, was durch die Kraft an ihnen geleistet wird, und aus einer ganzen Pferdekraft ein Zehntel oder Zwanzigstel Pferdekraft machen.

Durch keine Maschine läßt sich daher die Leistung einer Kraft vergrößern. Im Gegentheil kann man bei einer guten Maschine, an welcher die Kraft 75 Klgr.-M. leistet, nur über $^1/_2$ Pferdekraft oder eine Arbeit von 37,5 Klgr.-M. gebieten und sie zweckmäßig verändern und verwenden. Man kann, indem man an Kraft opfert, der Arbeitsmaschine schnelle Bewegung ertheilen, wie sie gerade erfahrungsmäßig zur Anfertigung mancher Waaren geeignet ist; man kann die Bewegung sehr regelmäßig machen, so daß die Waare weit vollkommener wird; oder man kann große, schwere Massen bewegen, indem man an Geschwindigkeit opfert und sie langsam ihren Weg durchlaufen läßt.

Aus dem Vorhergehenden erhellt, daß diejenigen etwas Unmögliches wollen, die ein sogenanntes Perpetuum mobile aufzufinden sich bemühen. Sie suchen eine Maschine zusammenzusetzen, die, nachdem sie einmal angestoßen ist, sich selbst in Bewegung erhält. Der erste Maschinentheil soll nach dem erhaltenen Anstoß den zweiten, dieser den folgenden, und der letzte wieder den ersten bewegen. Die zur Bewegung des ersten Maschinentheils verwandte Leistung gelangt, wegen der Reibung sehr verringert, zum letzten und von diesem, wieder verringert, zum ersten. Wenige Minuten mag solche Bewegung den übrigen Maschinentheilen sich mittheilen; in Kurzem aber muß die Leistung so verringert sein, daß sie die Reibung nicht mehr überwinden kann, und die Maschine steht still. Keine Zusammenstellung von Maschinentheilen kann einen Ersatz für das geben, was die Hindernisse der Bewegung, nämlich die Reibung und der Widerstand der Luft (§. 124. q.) oder des Wassers, verzehren.

§. 48. Dreifacher Zweck der Zwischenmaschinen.

Eine vielgebrauchte zusammengesetzte Maschine ist das gewöhnliche Spinnrad. Welches ist die Aufgabe, die der Erfinder dieser Maschine zu lösen hatte? Der arbeitende Theil derselben, die Spindel mit ihrer Spule, mußte in einer der Spinnerin bequemen Höhe angebracht sein und sollte den Faden ein wenig drehen und ihn aufwickeln; dies ließ sich nur durch eine drehende oder Radbewegung von bestimmter Geschwindigkeit erreichen. Weil ferner die Hände der Spinnerin beschäftigt sind, mußte die Kraftmaschine für die bewegende Kraft des Fußes eingerichtet werden, die sich durch kleine Räume langsam abwärts bewegt; für eine solche Bewegung eignet sich ein einarmiger Hebel, das Tretbrett,

das durch Daraufsetzen des Fußes niedergedrückt wird. Zugleich darf, wie es schon an dem Hebel geschieht, weil die Arbeitsmaschine nur wenig Kraft auszuüben hat, an Kraft verloren, und so an Geschwindigkeit gewonnen werden. Die Kraftmaschine des Spinnrades hat eine auf- und niedergehende Bewegung, und doch muß die Arbeitsmaschine eine Radbewegung erhalten; es wird daher zunächst eine Zwischenmaschine nöthig zur Verwandlung der auf- und niedergehenden Bewegung in eine Radbewegung; diese Aufgabe löst die von dem Hebel aufwärts führende Stange, die eine Kurbel dreht und zugleich die Bewegung zu der angemessenen Höhe fortleitet. Die Kurbel kann aber nicht an die Spindel selbst befestigt werden und diese umdrehen; denn die Bewegung ist erstlich noch zu langsam und zweitens, da der Fuß den Hebel nur niederdrückt und nicht wieder aufwärts bewegt, mithin nur die Hälfte der Zeit, absatzweise arbeitet, sehr unregelmäßig. Deshalb läßt man die Kurbel ein Rad von bestimmtem Gewicht umdrehen, das, einmal in Bewegung gesetzt, eine Zeit lang eine regelmäßige Bewegung beibehält. Auf solche Weise regelmäßig gemacht oder regulirt, muß die Bewegung noch bis zur Arbeitsmaschine fortgeleitet oder ihr übertragen werden, und zwar dergestalt, daß diese eine größere Geschwindigkeit erhält; dazu dient die Schnur, die bis zur Spindel führt, und darum giebt man dem Rade einen so großen Umfang, damit, während es sich einmal umdreht, die Spindel mehrere Umdrehungen vollendet. Sonach zerfallen die Zwischenmaschinen nach ihrem dreifachen Zweck in drei Klassen:

A. Maschinen zur Fortleitung der Bewegung. (Uebertragende Zwischenmaschinen.)

B. Maschinen zur Verwandlung der Radbewegung in eine hin- und hergehende, und umgekehrt. (Verwandelnde Zwischenmaschinen.)

C. Maschinen zur Regulirung der Bewegung. (Regulirende Zwischenmaschinen.)

A. Maschinen zur Fortleitung der Bewegung.

I. Die Schnur ohne Ende.

§. 49. Offene und gekreuzte Schnur ohne Ende.

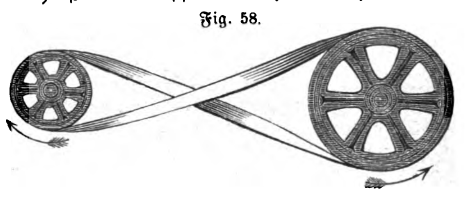
Um die Bewegung von einer sich drehenden Welle mehrere Dm. oder Meter weiter zu leiten und auf eine andere Welle zu übertragen, befestigt man an beide runde, rollenähnliche Scheiben oder Schnurräder und legt um dieselben eine Schnur ohne Ende. So heißt ein Band, ein Riemen oder eine Kette, deren beide Enden an einander befestigt sind. Die Schnur ist gespannt, wird durch die Reibung des einen Schnurrades bewegt und dreht das zweite sammt seiner Welle wiederum wegen der stattfindenden Reibung.

Fig. 57.

Sollen beide Wellen sich in derselben Richtung umdrehen, so wird die Schnur von der oberen Seite des einen Rades nach der oberen Seite des zweiten und unter diesem weg nach der unteren Seite des ersten zurückgeführt. Eine so geleitete Schnur heißt eine offene Schnur ohne Ende.

Wenn dagegen beide Wellen sich in entgegengesetzten Richtungen drehen, und die zweite sich nach links bewegen soll, während die erste nach der rechten Seite umläuft, so wird die gekreuzte Schnur angewandt, die von der unteren Seite jedes Rades nach der oberen Seite des andern geführt ist.

Fig. 58.



Sind beide Schnurräder gleich groß, so drehen sie sich in derselben Zeit gleich oft. Beabsichtigt man jedoch, der Welle, welche der Arbeitsmaschine näher ist, eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit zu ertheilen, so giebt man ihr ein kleineres Schnurrad; soll sich dies zweimal drehen, während das größere eine Umdrehung vollendet, so macht man den Durchmesser des größeren Schnurrades zweimal so groß, als den des kleineren. Dadurch wird der Umfang des größeren Rades ebenfalls doppelt so groß. Hat es etwa 60 Cm. im Umfang, so macht bei jeder halben Umdrehung jede Stelle der Schnur einen Weg von 30 Cm.; die an dem Umfang des kleineren Rades anliegenden Stellen der Schnur nöthigen jeden

Punkt desselben, einen ebenso großen Weg zu durchlaufen; ein kreisförmiger Weg von 30 Cm. ist gerade so groß, wie der ganze Umfang des kleineren Schnurrades. Dasselbe dreht sich daher, während das größere Rad eine halbe Umdrehung vollendet, einmal um und macht doppelt so viel Umdrehungen. Spinnräder, Spinnmaschinen und Schleifmühlen zeigen eine vielfache Benutzung der Schnur oder Kette ohne Ende.

II. Die gezahnten Räder.

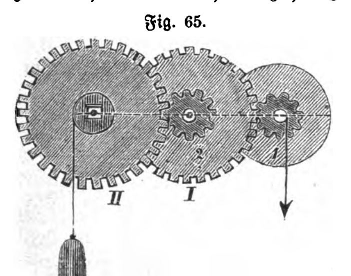
§. 50. Sternräder und Getriebe.

Die zweite Zwischenmaschine zur Fortleitung der Bewegung ist ebenso, wie die erste, eine Anwendung des Wellenrades. Wenn eine Welle ihre Bewegung einer andern, die aus Mangel an Raum ihr sehr nahe liegen muß, übertragen soll, oder erfolgt die Bewegung mit bedeutender Kraft, oder soll eine stehende Welle durch eine liegende getrieben werden, so wendet man gezahnte Räder an, die aus Metall gefertigt und theurer sind, als die Schnur ohne Ende, zumal da sie, um die Reibung zu verringern, in regelmäßig abgerundeten Formen gearbeitet sein müssen.

Ein Wellenrad, dessen Zähne Verlängerungen seiner Halbmesser bilden, wird ein Sternrad genannt. Die gezahnten Wellen selbst oder die kleineren Sternräder, in welche die größeren eingreifen, heißen Getriebe. Regelmäßig stößt ein Zahn des einen Rades einen Zahn des anderen fort, darauf greift der folgende Zahn in den nächsten und bewegt auch ihn weiter. Weil die Zähne in einander greifender Räder gleich groß sein und in gleichen Entfernungen stehen müssen, richtet sich die Zahl der Zähne stets nach dem Umfang der Räder; ein Rad mit doppelt so viel Zähnen hat auch den doppelten Umfang und den doppelten Halbmesser. Da sich aber an jedem Wellenrade Kraft und Geschwindigkeit nach dem Umfang oder Halbmesser desselben richtet, so hängt die Wirkung der gezahnten Räder von der Zahl der Zähne ab.

Ein Räderwerk bestehe aus drei Wellen; das Getriebe 1 der Welle zur rechten Seite habe zehn Zähne und greife in das größere Sternrad I. der mittleren Welle, an welchem sich 30 Zähne befinden; irgend eine Kraft drehe die erste Welle um. Zehn Zähne des ersten Getriebes müssen auch zehn Zähne des ersten größeren Rades bewegen; da dieses aber dreimal zehn Zähne hat, so dreht sich das erste Rad I. bei drei Umdrehungen des Getriebes 1 einmal um. An der Welle des ersten Rades sitzt das zweite Getriebe 2 mit gleichfalls zehn

Fig. 65.



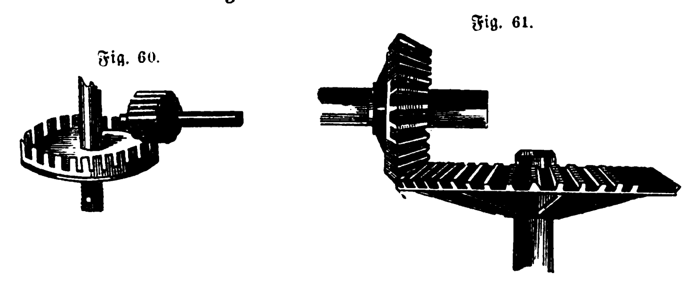
Zähnen fest, dreht sich zugleich mit ihm und vollendet demnach bei drei Umläufen des ersten Getriebes eine Umdrehung. Seine zehn Zähne bewegen das größere **zweite Rad** II., das an der Welle zur Linken sitzt und 40 Zähne hat. Dies Rad dreht sich einmal bei vier Umdrehungen seines Getriebes; dies Getriebe aber dreht sich einmal bei drei Umdrehungen des ersten Getriebes; folglich dreht sich das zweite Rad bei 3×4=12 Umdrehungen des ersten Getriebes einmal um. Die Kraft an der ersten Welle macht einen zwölfmal so großen Weg; wäre ein Seil um die erste Welle gewickelt, so müßte die Kraft, um die Last 1 Decimeter zu heben, 12 Decimeter des Seiles abwickeln; daher würde, die Reibung nicht gerechnet, eine zwölffache Last gehoben werden.

In den **Wanduhren** drehen Pendel und Gewichte ein Getriebe in einer Minute einmal um; der **Minutenzeiger** und das ihn tragende Rad sollen aber erst in einer ganzen Stunde oder 60 Minuten einen Umlauf vollenden. So ist denn **folgende Aufgabe** zu lösen: Es soll ein Räderwerk so eingerichtet werden, daß das letzte Rad sich einmal umdreht, während das erste Getriebe 60 Umläufe macht. Hätte das erste Getriebe zehn Zähne, so müßte das Rad 600 Zähne enthalten; allein Räder mit mehreren Hundert Zähnen sind unbrauchbar und würden auch zu groß werden. Man sieht sich dadurch genöthigt, mehrere Räder und Getriebe anzuwenden und die Aufgabe in mehrere zu zerlegen. Das letzte Rad soll 60 Mal so viel Zeit zu einem Umlauf gebrauchen, als das erste Getriebe; 60 Mal ist aber gleich 15×4 oder $7\frac{1}{2}$×8 Mal. Ein Rad, das $7\frac{1}{2}$ Mal so viel Zähne hat, als man dem ersten Getriebe giebt, gebraucht $7\frac{1}{2}$ Mal so viel Zeit zu einer Umdrehung; das folgende Rad muß ferner achtmal so viel Zeit zu einem Umlauf verwenden, als das zweite Getriebe, was dadurch zu erreichen ist, daß das Rad achtmal so viel Zähne erhält. Giebt man nun dem ersten Getriebe zehn Zähne, so erhält das erste Rad $10 \times 7\frac{1}{2} = 75$ Zähne; soll auch, was willkürlich ist, das zweite Getriebe zehn Zähne erhalten, so muß das letzte Rad 80 haben. Pendel und Gewicht drehen dann das erste Getriebe in einer Minute einmal um; das erste Rad hat $7\frac{1}{2}$ Mal so viel Zähne, dreht sich also sammt dem zweiten Getriebe erst in $7\frac{1}{2}$ Minuten um; das zweite Rad hat aber achtmal so viel Zähne, als sein Getriebe, und gebraucht darum $8 \times 7\frac{1}{2} = 60$ Minuten oder eine Stunde, wie verlangt wurde.

§. 51. Kronräder und konische Räder.

Außerdem, daß die Zahl der Umdrehungen geändert werden soll, kommt es bei Fortleitung der Bewegung nicht selten darauf an, die horizontale Radbewegung in eine lothrechte Radbewegung zu verwandeln, das heißt, **durch eine stehende Welle eine liegende zu bewegen**, oder umgekehrt. Zu solcher Umwandlung der Bewegungsrichtung dienen zuerst die **Kronräder** oder **Kammräder**, deren Zähne lothrecht auf der Fläche des Rades stehen und **mit der Axe der Welle gleichlaufend sind**.

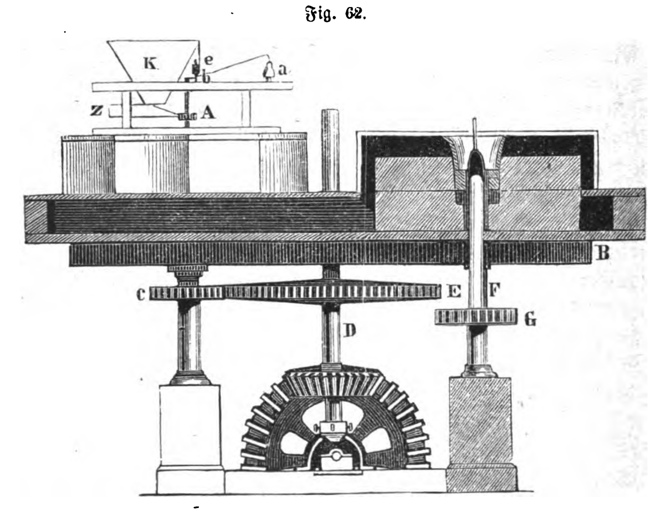
Die aufrecht stehende Welle greift mit den die Krone vorstellenden Zähnen in das Getriebe einer liegenden Welle.


Fig. 60. Fig. 61.

Häufiger noch bedient man sich jetzt in derselben Absicht der konischen Räder oder Kegelräder, deren Zähne auf dem Radkranz liegen und nach der Axe der Welle zu schräg aufsteigen. Stets greifen zwei konische Räder in einander. Sie haben den Vorzug, daß die eine Welle auch schräg liegen kann, und sind sehr dauerhaft.

In unseren **Mühlen**, deren Arbeit die Zerkleinerung des Getreides ist, muß die Bewegung der Kraftmaschine so auf die Arbeitsmaschine (§. 45), auf die Mühlsteine, übertragen werden, daß deren Geschwindigkeit hinreichend groß wird. Diese Fortleitung und Abänderung der Bewegung wird durch gezahnte Räder ins Werk gesetzt. Die Welle des Wasser-

Fig. 62.



rades (§. 97) dreht ein großes konisches Rad, das einem kleineren, an der lothrechten Welle D befindlichen, seine Bewegung mittheilt. Das zugleich mit dieser Welle umlaufende große Sternrad E hat zwei Mahlgänge in Bewegung zu setzen, von denen der zur Linken nach seiner äußeren Ansicht dargestellt ist, während der auf der rechten Seite

die innere Einrichtung erkennen läßt. An den Wellen, welche die Mühlsteine umdrehen, können die Getriebe C und G verschoben und so gestellt werden, daß das mittlere Sternrad E in sie eingreift. Nach unserer Abbildung ist das Getriebe G hinabgeschoben und außer Berührung mit dem mittleren Sternrade; dadurch ist der Mahlgang zur Rechten in Ruhe gesetzt. Dagegen ist der Mahlgang zur Linken, in dessen Getriebe C das Sternrad eingreift, in Thätigkeit. Die Welle F ist durch den Boden B und den festliegenden, unteren Mühlstein, welcher der Bodenstein heißt, hindurchgeführt und trägt den oberen, umlaufenden Mühlstein, den Läufer, der sich zugleich mit ihr bewegen muß. In die einander zugekehrten Oberflächen der Steine sind bogenförmige Rinnen gehauen, welche wie die Schneiden einer Scheere aufeinander wirken und das Korn zerschneiden; die Steinflächen sind so gearbeitet, daß sie, nachdem der Läufer genau in seinem Schwerpunkte an die Welle befestigt worden, in der Mitte einen Zwischenraum lassen und rings herum am Rande sich berühren. In seinem Mittelpunkte hat der Läufer eine Oeffnung, das Läuferauge; ein starker eiserner Steg verschließt dieselbe zum Theil, hat aber einige Lücken, durch welche das Getreide fallen und zwischen die beiden Steine gelangen kann; der etwa fingerdicke Strahl des Getreides breitet sich zwischen dem Läufer und dem Bodensteine in einer dünnen Lage aus und wird zu Kleie und Mehl zerkleinert. Am Rande der Steine (§. 60) angelangt, fällt das Gemahlene in einen ringsum verschlossenen Raum und aus diesem durch eine Oeffnung in das Beutelwerk. Das Beutelwerk dient zur Absonderung des Mehls von der Kleie und besteht aus einem Sack von Beuteltuch, durch dessen Maschen das Mehl durchgesiebt wird, wenn man das Beutelwerk schüttelt. Das Schütteln verrichtet aber die Mühle selbst, indem durch eine Schnur ohne Ende von der Welle D eine andere Welle ihre Bewegung erhält und durch einen Krummzapfen nebst Bläuelstange (§. 52) den Sack hin- und herschüttelt.

In das Läuferauge fällt das Korn aus einem trichterförmigen Kasten K, der den Namen Rumpf führt, und dessen untere Oeffnung durch ein schräg gestelltes Kästchen, den Schuh Z, fest verschlossen wird. Die Welle des Läufers ist nach oben verlängert und mit einigen Stäbchen A versehen; diese stoßen bei der Umdrehung nach einander an den Schuh und nöthigen die Körner, langsam in das Läuferauge hinabzugleiten. Wenn der Rumpf beinahe leer geworden ist, dann benachrichtigt eine Glocke (§. 344) den Müller davon. Von dem Glöckchen a führt nämlich eine Schnur zuerst zu dem Pflocke e und dann über eine Rolle in den Rumpf K; an das Ende der Schnur ist ein leichtes Stück Holz gebunden und beim Einschütten des Getreides von dem Müller unter dasselbe gesteckt worden. Hat nun das Getreide in dem Rumpf zu sehr abgenommen, so kann es das Holz nicht mehr zurückhalten; der Pflock e sinkt hinab und nimmt eine Stellung an, in der er von dem an der Welle befindlichen Stabe b bei jeder Umdrehung angestoßen, und die Glocke gezogen wird.

B. Maschinen zur Verwandlung der Radbewegung in eine hin- und hergehende, und umgekehrt.

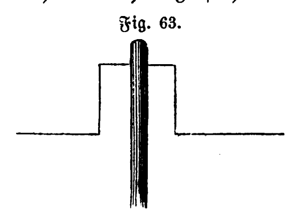
II. Der Krummzapfen.

§. 52. Der Krummzapfen und seine Anwendung.

Unter der großen Anzahl der Maschinen, die zur Umwandlung der Kreisbewegung in eine hin- und hergehende dienen, findet der Krummzapfen oder die Kurbel die häufigste Anwendung.

Versuch. Man nehme ein Stäbchen, durchbohre es mit einer Nadel nahe seinem einen Ende und schiebe einen Draht, etwa eine Haarnadel, bis zu ihrer Mitte hindurch. Die Bohrung sei so weit, daß der Draht ohne große Reibung sich darin umdrehen kann. Darauf lasse man auf beiden Seiten des Stäbchens kaum eine Fingerbreite des Drahts in wagerechter Richtung stehen und biege ihn sodann auf beiden Seiten in die lothrechte Lage. Die lothrechten Strecken werden einander gleich genommen, und endlich beide Enden wieder in die wagerechte Richtung umgebogen, in welcher sie eine gerade Linie bilden. Die beiden Enden des Drahts fasse man lose zwischen zwei Fingern der einen Hand; mit der andern halte man das untere Ende des Stäbchens und bewege es auf und ab.

Fig. 63.



Dadurch wird der Draht in drehende Bewegung gesetzt. Das Stäbchen, das die ihm ertheilte auf- und niedergehende Bewegung zu dem Drahte leitet, heißt bei der Ausführung im Großen die Kurbel- oder Bläuelstange. In dem gebogenen Drahte ist nach §. 27 c. leicht eine doppelte Kurbel, an deren Handgriff die Bläuelstange angreift, zu erkennen; er führt den Namen Krummzapfen oder Kurbel und dreht eine Welle, die auf beiden Seiten andere Maschinentheile treiben kann; liegt die ganze Welle auf der einen Seite des Krummzapfens, so erhält er die Einrichtung einer einfachen Kurbel.

Wie an dem gewöhnlichen Spinnrad der auf einen Hebel tretende Fuß die zu dem eisernen Krummzapfen hinaufführende Bläuelstange auf- und abbewegt und dadurch das Rad in drehende Bewegung versetzt, so geschieht die Umwandlung der Bewegungsart auch an Drehbänken, Nähmaschinen und Schleifmaschinen. An den Dampfmaschinen bringt die Kraft des Dampfes eine auf- und niedersteigende Bewegung hervor, die ebenfalls mittels einer Bläuelstange und eines Krummzapfens in eine Radbewegung umgewandelt wird.

Umgekehrt kann aber auch die Maschine, auf welche die Kraft un-

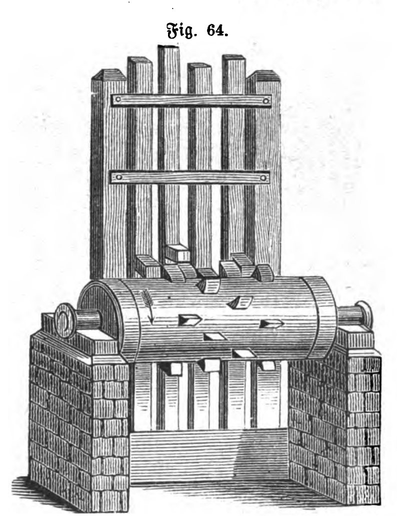
mittelbar wirkt, wie alle Wasserräder, eine Radbewegung haben, während die Arbeitsmaschine hin- und hergehen soll. Dann wird ein Krummzapfen an die Welle befestigt und bewirkt ein Hin- und Hergehen der Bläuelstange und der von ihr bewegten Arbeitsmaschinen. So wird mittels des Krummzapfens und der Bläuelstange in den Sägemühlen die Bretter schneidende Säge und in den Papiermühlen das Messer der Lumpenschneidemaschine hin- und hergezogen. In den Drahtziehereien theilt die Bläuelstange ihre Bewegung einer großen Zange mit, welche, zugedrückt, den Draht durch die Oeffnungen eines Zieheisens hindurchzieht und, wenn sie zurückkehrt, durch eine Feder geöffnet ist; in den Spiegelschleifereien wird ein großer Kasten, unter den die zu schleifende Glasplatte gekittet ist, über einer andern, auf dem Tische festliegenden und mit Smirgel bestreuten Tafel durch die Bläuelstange hin- und hergeführt; in Spinnmaschinen erhält der Abstreifekamm, der die Wolle aus den Stiften der letzten Walze herauszukämmen hat, auf gleiche Weise seine Bewegung.

II. Die Daumenwelle.

§. 53. Die Daumenwelle und ihre Anwendung.

Für Stampf- und Hammerwerke werden die Wellen ohne Anwendung des Krummzapfens zur Hervorbringung der erforderlichen auf- und niedergehenden Bewegung eingerichtet, indem man an dieselben starke Zähne befestigt. Dieselben haben Aehnlichkeit mit der Gestalt eines umgekehrt gehaltenen Daumens und heißen Daumen oder Heblinge. Die damit versehene Welle heißt die Daumenwelle und erhält ihre Bewegung durch ein Räderwerk von einem Wasserrade.

Fig. 64.

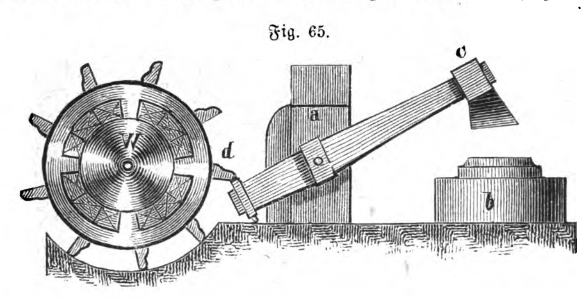


In den Stampfwerken sind lothrecht stehende Balken, die Stampfer, zu heben, die mit einem starken Daumen, dem Däumling, versehen sind. In ihrer lothrechten Stellung werden sie durch die Scheidelatten erhalten, welche sie auf allen Seiten umgeben und ihnen gestatten, sich mit hinreichendem Spielraum auf- und abzubewegen. Die Heblinge der Welle greifen unter die Däumlinge und schieben sie und den Stampfer aufwärts. Werden sie von den Heblingen verlassen, so fallen die Stampfer wegen ihrer Schwere wieder hinab in die Grube, die Höhlung eines starken

Baumes. In derselben zerkleinern sie die Eichenrinde in den Lohmühlen, die Erze in den Pochmühlen; in den Oelmühlen zerquetschen die Stampfer den Oelsamen und bereiten ihn dadurch zum Pressen vor; in den Pulvermühlen zerstoßen sie die zur Herstellung des Pulvers nöthigen Stoffe.

In Eisen- und Kupferwerken werden durch Daumenwellen die großen Hämmer emporgehoben, die oft mehr als einen Centner schwer und an einen langen, balkenartigen Stiel befestigt sind. Der Stiel dreht sich um eine horizontale Axe und stellt einen zweiarmigen Hebel dar, dessen kürzeren Arm die Daumen der Welle niederdrücken. Der Kopf des Hammers macht deshalb einen größeren Weg und fällt aus einer desto größeren Höhe auf den Amboß nieder. In den Oelmühlen wird durch die Daumenwellen der schwere Hammer gehoben, der die Keile der Presse schlägt.

Fig. 65.



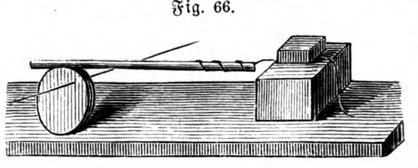
In den Papiermühlen und Walkmühlen greifen die Daumen der Welle nahe bei seinem Kopfe unter den Hammer, dessen Stiel dann ein einarmiger Hebel ist; in den Schmelzhütten drücken sie von oben her die großen Blasebälge nieder, die durch Hebel und Gewichte wieder emporgezogen werden. Auch in Spieldosen und Spieluhren finden wir Daumenwellen, deren Stifte die tönenden Federn bewegen.

III. Die excentrischen Scheiben.

§. 54. Die excentrische Kreisscheibe.

Versuch. Durch eine runde, nicht zu kleine Schachtel schiebe man als Axe, um welche sie gedreht werden kann, eine Stricknadel, aber nicht durch die Mitte der ebenen Flächen, sondern nahe dem Rande. Ferner nehme man einen Stab oder ein Lineal, binde um sein eines Ende ein Band und lege das frei bleibende Stück des Bandes zwischen Brettern oder Büchern fest. Der Stab bildet einen einarmigen Hebel, das Band seinen Unterstützungspunkt, wie an dem Hebel unten am Spinnrade

Fig. 66.



Unter das freie Ende des Stabes werde nun die Schachtel gehalten und mit der Hand um die Axe gedreht; der Stab wird sich auf- und abbewegen. Da die Axe nahe dem Rande angebracht ist, liegt beim Umdrehen der Schachtel bald eine kleinere, bald eine größere Strecke derselben über der Axe, wodurch ein Fallen und Steigen des Hebels hervorgebracht wird.

Ein Rad, dessen Umdrehungsaxe nicht durch seinen Mittelpunkt geht, wird eine excentrische Scheibe oder ein Excentricum genannt. Häufig haben sie die Gestalt einer Kreisscheibe, oft aber auch eine herzförmige Gestalt. Anwendung findet die excentrische Kreisscheibe bei der Steuerung der Dampfmaschinen, die herzförmige Scheibe in Spinnmaschinen, wo sie die Spulen hin- und herschiebt, damit der Faden sich auf alle Stellen derselben gleichmäßig aufwickele. (§. 384 e.)

IV. Gezahnte Stangen.

§. 55. Die gezahnten Stangen mit Getriebe.

Häufig in Anwendung kommen Stangen, die auf einer Seite mit Zähnen versehen sind; in die Zähne der Stange greifen die Zähne eines kleinen Sternrades oder Getriebes. Wird dieses Rad nach der einen Richtung umgedreht, so bewegt sich die gezahnte Stange in gerader Linie aufwärts. Dreht man das Rad in entgegengesetzter Richtung, so wird die gezahnte Stange abwärts bewegt.

Fig. 67.

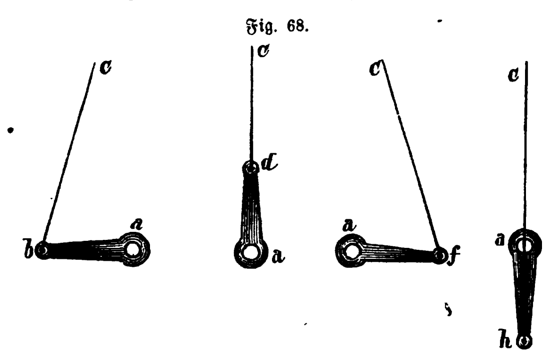
Anwendung findet die gezahnte Stange mit Getriebe an Lampen, physikalischen Instrumenten und der gewöhnlichen Wagenwinde. In den Lampen ist an die gezahnte Stange der Dochthalter befestigt; durch Drehen des Getriebes wird der Docht hoch oder niedrig gestellt. Die besseren zusammengesetzten Mikroskope enthalten eine gezahnte Stange, durch welche den zu betrachtenden Gegenständen die Gläser genähert oder von ihnen entfernt werden können, §. 328. In dem Gehäuse der Wagenwinde befindet sich eine gezahnte Stange ab; sie erhält ihre Bewegung durch das Getriebe 3, das mit dem gezahnten Rade 2 an dieselbe Axe befestigt ist. In das gezahnte Rad 2 greift das Getriebe 1, welches durch eine 30 bis 45 Cm. lange Handkurbel umgedreht wird. Die Verbindung der Räder und die Länge der Kurbel bewirken, daß die Kraft eines Menschen ausreicht, um die Axe des Wagens mit Hülfe der Wagenwinde etwas emporzuheben.

C. Maschinen zur Regulirung der Bewegung. (Regulatoren.)

§. 56. Nothwendigkeit der Regulatoren.

Beim Umdrehen des in §. 52 verwandten kleinen Krummzapfens muß sich ein Uebelstand herausgestellt haben, an welchem die zur Verwandlung der Bewegungsart dienenden Maschinen leiden. Wenn die Kraft oben an die Bläuelstange angreift und dem Krummzapfen gerade seine höchste Stellung ad, lothrecht über dem Mittelpunkt seiner Kreisbahn gegeben hat, so kann die Bläuelstange cd in diesem Augenblick ihn gar nicht in seiner Bahn weiter bewegen, sondern nur emporziehen und dadurch die Reibung seiner Axe vermehren. In diesem Punkte d ist die Kraft wirkungslos und todt, es ist der eine todte Punkt in der Kreisbahn. Dreht sich der Krummzapfen von da aus nach rechts, so nimmt die Wirkung der Bläuelstange fortwährend zu, bis der Krummzapfen seine mittlere, wagerechte Stellung af einnimmt. Darauf nimmt die Wirkung wieder ab, und hat der Zapfen seine tiefste Stellung in dem Punkte h lothrecht unter dem Mittelpunkte des Kreises erreicht, dann ist er im zweiten todten Punkte seiner Bahn angelangt, in welchem ihn die Kraft nicht drehen, sondern nur hinabdrücken kann. Dann wächst die Wirkung der Bläuelstange wieder bis zur mittleren, wagerechten Stellung des Zapfens und nimmt im Verlauf der Bewegung zum zweiten Mal ab, bis sie in dem ersten todten Punkte fast ganz aufhört. Daraus folgt denn: In zwei Punkten seiner Bahn kann die Kraft dem Krummzapfen und den von ihm getriebenen Arbeitsmaschinen keine Bewegung mittheilen; in den anderen Stellen der Bahn zeigt sich die Wirkung der Kraft höchst veränderlich, und die Bewegung wird bald schnell, bald langsam. Eine so unregelmäßige Bewegung, wie sie demnach die vorzüglichste Maschine zur Hervorbringung einer Radbewegung liefert, ist zum Betrieb der Arbeitsmaschinen unbrauchbar, und sie muß erst durch die dritte Art von Zwischenmaschinen regelmäßig gemacht oder regulirt werden.

Fig. 68.



Die Daumenwelle dreht sich, wenn sie gerade den Hammer hebt, langsam; ist aber der Hammer hoch genug gehoben, so hat sie keine Arbeit und läuft plötzlich schneller, bis sie wieder den Hammer angreift. In demselben Augenblick wird ihre Geschwindigkeit gering, und die ganze Maschine erhält einen Stoß, wodurch sie bald unbrauchbar wird. Außerdem ist die Leistung der Kraft von dem Hinabfallen bis zum Emporheben des Hammers unbenutzt geblieben und verloren gegangen.

Aber nicht bloß die zweite Art der Zwischenmaschinen, sondern schon die Kraftmaschinen selbst haben einen unregelmäßigen Gang. Denn veränderlich sind die Wirkungen aller Kräfte, über die wir zu gebieten haben. Weder die Leistung des Wassers oder des Windes, noch die des Dampfes, noch auch die Bewegung eines hinabsinkenden Gewichtes oder einer Feder an den Uhren bleiben sich stets gleich, und doch soll der Gang der Maschinen möglichst gleichmäßig sein.

I. Das Schwungrad.

§. 57. Das Schwungrad.

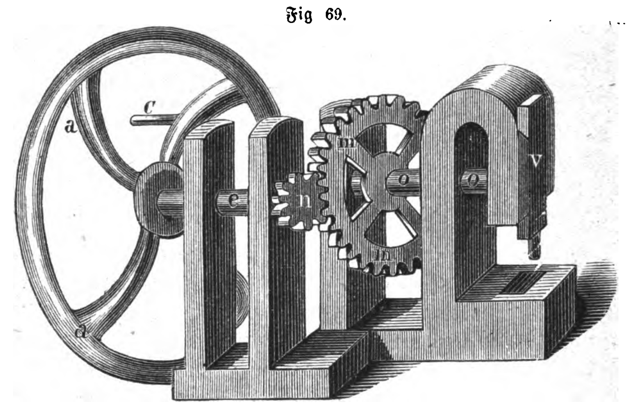
In Gegenden, wo zum Treiben von Maschinen Bäche benutzt werden müssen, die bei großer Regenmenge und beim Schmelzen des Schnees anschwellen und bei trocknem Wetter fast versiegen, legt man Teiche an, um das Wasser anzusammeln, und gebraucht sie wie ein Magazin, in welchem man zur Zeit des Ueberflusses Vorräthe aufspeichert, um in den Tagen der Noth nicht Mangel zu leiden. Aehnlich läßt sich auch die mechanische Arbeit ansammeln und, indem man fortwährend neue Arbeit hinzufügt, in großer Menge anhäufen. Sie gleicht dann einem bedeutenden Kapital, das nach und nach erworben und erspart ist, und das man auf zwei Weisen verwenden kann; entweder giebt man die ganze Summe auf einmal aus und erreicht dadurch einen beträchtlichen Erfolg, oder man gebraucht sie als Zehrpfennig in unerfreulicher Zeit und nimmt davon immer nur wenig, gerade so viel, als beim Mangel an Arbeit im Haushalte fehlt.

So sehen wir Knaben, die sich üben, mit einer Schleuder zu werfen, dieselbe einmal im Kreise schwingen und dadurch eine gewisse Arbeit an den fortzuschleudernden Stein verwenden; im zweiten Augenblicke, in welchem der Stein nach dem Beharrungsgesetze die im ersten erlangte Geschwindigkeit mitbringt, wird ihm durch einen neuen Umschwung ein neuer Zuwachs an Geschwindigkeit ertheilt; im dritten wieder; und die so angesammelte Arbeit muß der Stein, wenn er losgelassen wird, auf einmal ausgeben und eine bedeutende Wirkung äußern.

Wird ein großer eiserner Ring oder Radkranz von beträchtlichem Gewicht und überall von gleicher Stärke durch feste Speichen an eine Welle befestigt, so daß die Axe der Welle durch seinen Mittelpunkt

geht, so hat man ein Mittel, um Arbeit anzuhäufen. Durch mehrere Umdrehungen dieses Rades, des Schwungrades, läßt sich eine Menge mechanischer Arbeit ansammeln, die man nachher beliebig verwenden kann. Einer solchen Anhäufung behufs einmaliger Verwendung bedarf man in den Dampfmaschinenfabriken, um durch die starken Eisenbleche, aus denen die Dampfkessel gearbeitet werden, die Nietlöcher zu schlagen. An den dazu gebauten Durchschnittmaschinen (Stoß- oder Schneidemaschinen) verrichtet ein Schieber v die Arbeit, indem er einen in ihn eingesetzten Dorn oder Meißel durch die Metallbleche treibt, die unter ihn gelegt werden. Der Schieber erhält seine Bewegung durch eine (in der Figur nicht sichtbare) excentrische Scheibe, die an die Welle o befestigt ist; an derselben Welle befindet sich das größere Sternrad m, und in dieses greift

Fig 69.

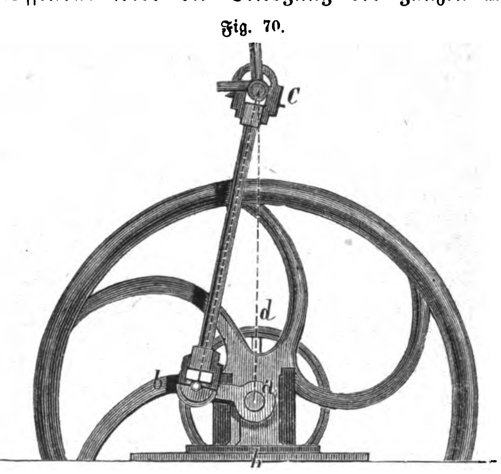


das Getriebe n, an dessen Welle e das Schwungrad a befestigt ist. Die Arbeiter drehen das Schwungrad mittels der Kurbel c; sie verwenden ihre Kraft, ohne daß die Arbeitsmaschine thätig ist, auf das Umdrehen des Schwungrades; zu der demselben durch die erste Umdrehung ertheilten Leistung fügen sie eine zweite, dritte und mehr. Diese angesammelten Arbeitsmengen werden dann auf einmal verwandt, um den Schieber hinabzudrücken. In Walzwerken treibt das Wasserrad ebenfalls ein Schwungrad mehrere Male um, und dann erst walzt die Arbeitsmaschine das dicke Metallstück mit gesammelter Kraft. Durch ein ähnliches Verfahren wird die durchbrochene Arbeit in Metallplatten gefertigt. In Münzen ist der arbeitende Maschinentheil eine Schraube, §. 41, durch deren Kopf ein langer Hebel geht; an seinen Enden trägt derselbe centnerschwere Kugeln, die eine Zeit lang bewegt werden und Arbeit sammeln, ehe die Schraube den Stempel auf die Münze drückt.

Während in allen diesen Fällen die angehäuften Arbeitsmengen auf einmal ausgegeben werden, wird das Schwungrad ebenso häufig gebraucht, um aus seinem Arbeitsvorrath an die Maschinentheile kleinere Mengen zu vertheilen, deren Bewegung etwas langsamer wird, wogegen es, wenn die Maschine einen schnelleren Gang annimmt, den dadurch gewonnenen

Arbeitsvorrath vorläufig für sich behält und aufspart. Die Bewegung seiner Welle kann wegen der schweren Masse des Schwungrades nicht sogleich merklich schneller werden; die etwa durch die Kraft bewirkte Zunahme der Geschwindigkeit vertheilt sich auf die große Masse des Rades, und bei einer Abnahme der Geschwindigkeit *beharrt* die große Masse noch eine Zeit lang in dem früheren Zustand ihrer Bewegung. Daher ist das Schwungrad ein treffliches Mittel, den Gang einer Maschine regelmäßig zu machen. Offenbar wird die Bewegung der ganzen Maschine desto regelmäßiger werden, je mehr das Schwungrad *wiegt*; durch sein Gewicht wird aber die Reibung der Axe oder der Zapfen an der Welle vermehrt und kann so groß werden, daß das Schwungrad allein die Hälfte von der ganzen Leistung der Maschine verzehrt.

Fig. 70.



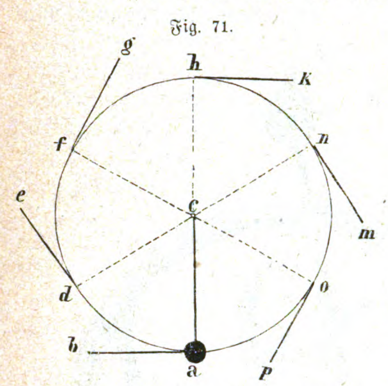
Wenn ein einziger *Krummzapfen* eine Welle umdrehen soll, *muß* an dieser ein Schwungrad angebracht werden; von ihm nur eine kleine Strecke gedreht, ist das Rad bereits im Stande, ihm über die todten Punkte seiner Bahn hinwegzuhelfen und geht so regelmäßig, daß die Bewegung von ihm, etwa durch eine Schnur ohne Ende, zu den Arbeitsmaschinen geleitet werden kann. Deshalb finden wir das Schwungrad an allen stehenden *Dampfmaschinen*, während an den Lokomotiven zwei verschiedene Krummzapfen an derselben Welle arbeiten, und der eine immer dem andern über seine todten Punkte hinweghilft; in den *Mühlen* übernehmen die Mühlsteine den Dienst der Schwungräder und sind in den Windmühlen größer, weil die Kraft des Windes unregelmäßiger wirkt; an den *Schleifmaschinen* macht die große Masse des Schleifsteins, an dem *Spinnrad* das größere Schnurrad die Bewegung regelmäßig.

II. Der Centrifugalregulator.

§. 58. Die Centralkräfte.

Versuch. Eine Kugel oder ein Ball hänge lothrecht an einem kurzen Faden, dessen Ende man in der Hand hält. Bewegt man die andere Hand in wagerechter Richtung und ertheilt der Kugel einen starken Stoß, so müßte sie sich in wagerechter Richtung weiter bewegen. Dies giebt aber die Festigkeit des Fadens nicht zu, er hält sie zurück und wirkt wie eine anziehende Kraft, die an dem Aufhängepunkte ihren Sitz hat. Von der wagerechten Kraft seitwärts getrieben und von dem Faden fortwährend gezwungen, ihre Richtung zu ändern, beschreibt die Kugel einen Kreis um den Aufhängepunkt als Mittelpunkt oder Centrum. Die Ursache einer Kreisbewegung oder Centralbewegung sind also zwei Kräfte, welche Centralkräfte heißen, der ursprüngliche Anstoß von der Seite her und die vom Mittelpunkt der Bahn aus wirkende Anziehungskraft oder Centripetalkraft.

Fig. 71.



§. 59. Die ursprüngliche Tangentialkraft.

Versuch a. Mitten durch eine runde Pappscheibe oder eine große Schachtel werde eine Stricknadel gesteckt, um welche als Axe sich die Scheibe drehen kann. Um nun den Punkt h in der vorhergehenden Figur, wenn der Kreis die Scheibe darstellt, oben am Rande der Scheibe in kreisförmige Bewegung zu versetzen, lege man in ihm die flache Hand auf den Rand der Scheibe, sie wird sie in einem Punkte berühren und, wagerecht nach der rechten Seite geschoben, eine Kreisbewegung hervorbringen. Hätte sich der Punkt h in seiner Bahn bis an die Stelle n bewegt und beharrte nicht länger in seiner Bewegung, weil die Reibung der Scheibe an der Axe es hindert, so müßte man in dem zweiten Punkte die Fläche der Hand in der schrägen Richtung mn anlegen. Diese Linie giebt die Richtung an, die man der zu bewegenden Stelle ertheilt hat. In dieser den Kreis berührenden Linie kann der Punkt nicht bleiben, weil sogleich die Festigkeit der Scheibe ihn dieselbe zu verlassen zwingt; weiter bewegen muß er sich nach dem Beharrungsgesetze, wenn nur die Reibung geringer ist; aber die ihn festhaltende Kraft lenkt ihn ununterbrochen von seiner Richtung ab und ertheilt ihm die Richtungen op, ab, de und so weiter. Die von der Seite her anstoßende Kraft muß daher in der Richtung

einer den Kreis in einem Punkt berührenden Linie wirken und wird, weil die Berührungslinien Tangenten heißen, als Tangentialkraft bezeichnet.

Versuch b. An einem über eine Rolle gelegten Faden hänge ein Gewicht oder ein nicht zu kleiner Schlüssel. Zieht man dann das freie Ende des Fadens nach einander in lothrechter, wagerechter und in verschiedenen schrägen Richtungen, so giebt stets das Stück des Fadens von der ziehenden Hand bis zur Rolle die Richtung der Tangentialkraft an; als solche wirkt die Hand an der Stelle der Rolle, wo der Faden sie verläßt, und setzt sie in drehende Bewegung. So wird jeder Schlitten, der auf dem Eise an einen Pfosten befestigt ist und um denselben sich im Kreise bewegen soll, jedes Caroussel, jedes Rad in der Richtung der Tangente angestoßen.

§. 60. Wieder Offenbarwerden der Tangentialkraft.

Wenn wir einen Körper sich drehen und im Kreise bewegen sehen, denken wir nicht gleich daran, daß seine Bewegung keineswegs eine einfache, sondern eine zusammengesetzte Bewegung ist, die er zwei Kräften verdankt. Hört indessen die eine dieser Kräfte, die festhaltende oder anziehende Centralkraft (die Centripetalkraft) auf, so wird die Wirkung der andern, der Tangentialkraft, wieder deutlich offenbar.

Versuch a. Nachdem man den Faden, an den ein Ball befestigt ist, mit der Hand mehrere Male umgeschwungen und die Kreisbahn beobachtet hat, lasse man den Faden los und mache dadurch dem Wirken der anziehenden Centralkraft ein Ende. Der Ball wird seine Bahn in gerader Linie verlassen, und seine neue Richtungslinie wird anfänglich eine Tangente der Kreisbahn sein.

Versuch b. Der Rand einer offenen Schachtel werde oben an drei Stellen durchbohrt, daran drei ungefähr 30 Cm. lange Fäden befestigt und oben zusammengebunden. Wenn man die Schachtel an den Fäden emporhebt, muß sie wagerecht schweben. Man fülle sie mit Sand, drehe, während sie noch ruhend auf dem Tische steht, die Fäden zusammen, hebe die Schachtel auf, wann sie so weit als möglich zusammengedreht sind, und drehe sie noch weiter. Indem die Schachtel sich sehr schnell umdreht, eilen die Sandkörner, von der Tangentialkraft getrieben und nur durch die geringe Reibung festgehalten, nach allen Seiten in der Richtung der Tangenten aus der Schachtel oder bis an den Rand derselben, so daß sich in der Mitte eine Höhlung bildet.

In ähnlicher Weise verläßt auch der Stein der Schleuder, wenn er nicht mehr festgehalten ist, seine Kreisbahn in der Richtung der Tangente. Das Getreide, das gemahlen werden soll, wird durch die obere Oeffnung des umlaufenden Mühlsteines eingeschüttet, durch die Kreisbewegung, indem es zerkleinert wird, den Rändern der Steine genähert und als Mehl in Tangentialrichtung hinausgeworfen. An einem Schleifstein, der in ein Wasser enthaltendes Gefäß taucht, haften Wassertheilchen,

sie spritzen seitwärts hinweg, sobald der Schleifstein schnell gedreht, und dadurch die Tangentialkraft vergrößert wird; Aehnliches nimmt man am Sande wahr, der an Wagenrädern haftet.

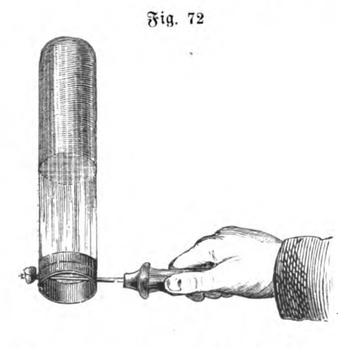
§. 61. Die Centrifugalkraft als zweite Wirkungsweise der Tangentialkraft.

An einer Kugel, die man an einem Faden hält und von der Seite her angestoßen hat, offenbart sich die Tangentialkraft des Anstoßes vollständig, sobald man den Faden losläßt. Die Kugel fliegt in der Richtung der Tangente seitwärts und entfernt sich dadurch immer weiter von dem Mittelpunkt der Bahn. In der Tangentialkraft liegt also das Bestreben, den von ihr bewegten Körper von dem Mittelpunkte seiner Kreisbahn zu entfernen; dieser Wirkungsweise der Tangentialkraft hat man die Namen Centrifugalkraft, Schwungkraft oder Fliehkraft, beigelegt. Sie ist nicht eine dritte Centralkraft, sie ist überhaupt keine besondere Kraft, sondern nur eine zweite Art, in welcher die Tangentialkraft wirkt und sich bethätigt, ähnlich wie die Schwerkraft sich sowohl durch das Fallen, als auch durch den Druck eines Körpers kund giebt.

In einem Theile ihrer Kreisbahn würde die Tangentialkraft eine an einem Faden umgeschwungene Kugel nach oben bewegt haben; daher spannt die Kugel den Faden trotz der entgegenwirkenden Schwerkraft auch in dem obern Theile ihres Weges und hält sich vom Mittelpunkt desselben möglichst entfernt. Aehnliche Erscheinungen sind es, die man als Centrifugalerscheinungen bezeichnet.

Versuch a. Man lege eine Kugel oder einen Ball in die für den vorhergehenden Versuch mit drei Fäden versehene leere Schachtel und schwinge dieselbe von unten nach oben in einer lothrechten Kreisbahn. Obwohl von der Schwerkraft angezogen, wird die Kugel nicht hinabfallen, sondern, von der Centrifugalkraft nach oben getrieben, in der Schachtel bleiben.

Fig. 72



So kann man auch einen gefüllten Korb oder ein Glas mit Wasser schnell herumschwenken, ohne daß etwas herausfällt oder verschüttet wird, wann die Oeffnung der Behälter nach unten gekehrt ist. Ein Wagen, der um eine Ecke biegt, wird, wenn dies mit großer Geschwindigkeit geschieht, umgeworfen, weil die Centrifugalkraft ihn aus seiner Bahn treibt, in welcher die Räder durch die Reibung am Erdboden festgehalten werden; ein Schlitten wirft in ähnlichem Falle um oder wird bei sehr geringer Reibung wirklich in der Tangente seitwärts geschleudert. Aus diesem Grunde werden bei Anlegung von Eisenbahnen starke Krümmungen vermieden. Schlittschuhläufer, die auf



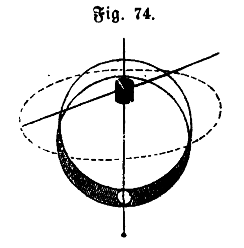
dem Eise Kreise beschreiben, leisten der Centrifugalkraft dadurch Widerstand, daß sie sich schräg halten und einwärts neigen. Ebendeshalb halten sich auch Kunstreiter, wenn sie auf den Pferden stehen, ganz schräg nach dem Innern der runden Reitbahn; oft sieht man auch Kunstreiter an der dem Mittelpunkt der Bahn zugewandten Seite des Pferdes, wie angeklebt, ohne jeden Stützpunkt schweben, was nur durch Benutzung der Centrifugalkraft möglich wird, die sie gegen das Pferd drängt. In den Centrifugalrutschbahnen bildet die Bahn sogar einen aufrecht stehenden Kreis; der von einer noch höheren Stelle hinabrollende Wagen durchläuft den inneren Umkreis desselben und steht in seinem höchsten Punkte, ohne zu fallen, auf dem Kopfe, weil er durch die Centrifugalkraft gegen die Bahn gedrückt wird. Dasselbe zeigt im Kleinen der folgende Versuch.

Versuch b. An einem bogenlangen, zwei Finger breiten Papierstreifen wird der Rand auf beiden Seiten der Länge nach umgebogen, so daß er eine Rinne bildet. Auf einer halb so langen Strecke, wo die Bahn zu einem Kreise gebogen werden soll, erhalten die lothrecht stehenden Ränder des Streifens neben einander viele Einschnitte mit der Scheere. Darauf wird diese Stelle zu einem aufrecht stehenden Kreise geformt, die Theilchen des Randes an einander geklebt oder wenigstens aus dem Innern der Rinne gebogen, und die ganze Centrifugalbahn mit der Hand so gehalten, daß das obere Stück ziemlich steil hinabführt. Eine Erbse oder ein Schrotkorn, das oben in die Rinne gelegt worden, durchläuft sie, ohne aus dem Innern des stehenden Kreises zu fallen.

Fig. 73.

Versuch c. Wenn ein sich drehender Körper seine Gestalt verändern kann, so nimmt er eine abgeplattete Gestalt an. Eine Stricknadel sei die Axe, um welche ein solcher Körper gedreht werden soll; ihr unteres Ende werde leicht beweglich in der linken Hand gehalten, an dem oberen greife die rechte Hand die lothrecht stehende Nadel an und drehe sie schnell um. Die Bewegung der drehenden Finger zeigt sich als durchaus unregelmäßig; man bedarf also eines Regulators, etwa eines Schwungrades. Deshalb schiebe man einen Kork, der durch seine Reibung an der Nadel festsitzt, über ihr oberes Ende, so daß über ihm eine Stelle zum Anfassen frei bleibt, und stecke durch den Kork in wagerechter Richtung eine oder zwei Stricknadeln. Diese übernehmen, wenn auch weniger vollkommen, den Dienst eines Schwungrades. In einen zwei Finger breiten Papierstreifen von der Länge eines Bogens wird sodann in seine Mitte eine große Oeffnung geschnitten, die lothrechte Axe mit dem untern Ende durch dieselbe geschoben, und jedes Ende des Papierstreifens oben auf den Kork mit einer Stecknadel befestigt. Nachdem man den ganzen Papierstreifen in die Form eines Kreises gebogen hat, drehe man die Axe schnell um; die Theile des Streifens werden dann durch die Centri-

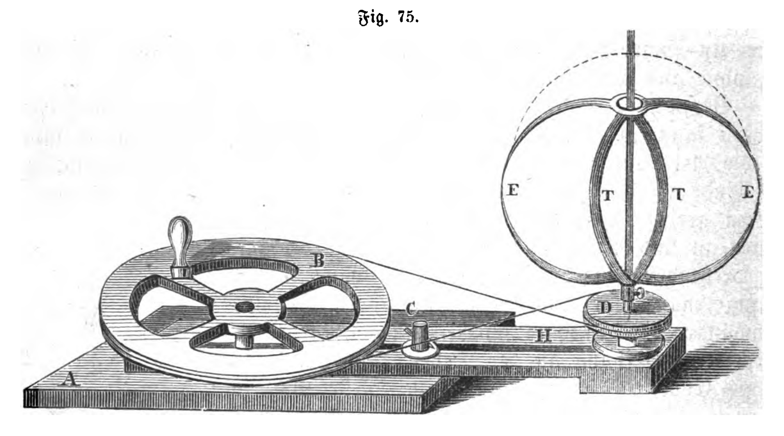
Fig. 74.



fugalkraft, so weit sie vermag, von der Axe entfernt, und er nimmt eine abgeplattete Gestalt an, indem er sich nach der rechten und linken Seite ausdehnt und den untern Theil emporhebt. Ehe die Erde in den festen Zustand überging, muß ihre Axendrehung ihr eine abgeplattete Gestalt gegeben haben, und ihre Axe kürzer sein, als der Durchmesser des Aequators. — Dreht man die Vorrichtung einmal recht stark, das andere Mal nur mit geringer Kraft, so wird die Centrifugalkraft die Kreisform des Streifens zuerst stark, nachher wenig, in die Breite ziehen und das erste Mal den unteren Theil des Papiers hoch, das zweite Mal nur wenig emporheben. Die Stellung des Papiers zeigt an, ob die Kraft eine schnelle oder langsame Bewegung hervorbringt; zugleich lehrt der Versuch, daß eine als Schwungrad dienende Vorrichtung nicht ausreicht, wenn die Kraft anhaltend zunimmt oder anhaltend schwächer wird.

Die Schwungmaschine. Einige der in den vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuche lassen sich sehr bequem mit der Schwung- oder Centrifugalmaschine anstellen. Ein Brett A trägt einen lothrechten Eisenstab; dieser ist die Axe eines wagerecht liegenden Rades B, das mittels eines Handgriffes durch die Hand umgedreht wird. Dies größere Rad ist mit einem kleineren D durch eine Schnur ohne Ende verbunden. Die Axe des kleineren Rades dreht sich in einem Cylinder, der auf ein Brett H befestigt ist. Dies Brett umfaßt mit einem Schlitze die Axe des

Fig. 75.



größeren Rades B und die Schraube C; durch Verschiebung des Brettes H und Andrücken der Schraube C wird der Schnur die gehörige Spannung gegeben. Die Axe des kleineren Schnurrades D ragt nach oben 3 Cm. hervor. Ueber dieselbe werden die umzudrehenden Gegenstände geschoben und durch eine Schraube an sie festgeklemmt. Die in der Zeichnung (Fig. 75) auf das kleinere Rad gesetzte Vorrichtung, ein Abplattungsmodell, entspricht dem Versuche c unseres Paragraphs; die Reifen E sind von Metall und sind unten befestigt; bei schneller Umdrehung platten sie sich ab. — Auf dem Brettchen in der nächsten Zeich-

nung (Fig. 76) liegen zwei Kugeln in flachen Vertiefungen; wird das Brettchen auf die Axe des kleineren Rades geschraubt und schnell umgedreht, so fliegen die Kugeln in der Richtung der Tangente weg (§. 60 b.). —

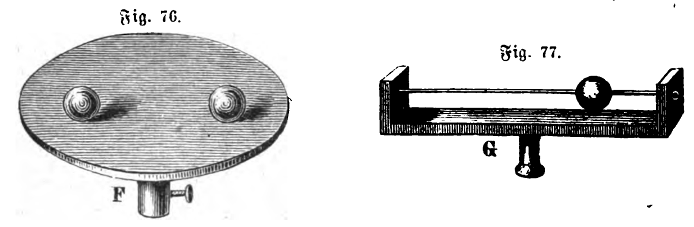


Fig. 76. Fig. 77.

Das Fig. 77 gezeichnete Lineal trägt zwischen seinen lothrechten Ansätzen einen Draht, über den eine Kugel geschoben ist; bei der Umdrehung treibt die Centrifugalkraft die Kugel bis ans Ende des Lineals.

§. 62. Der Centrifugalregulator.

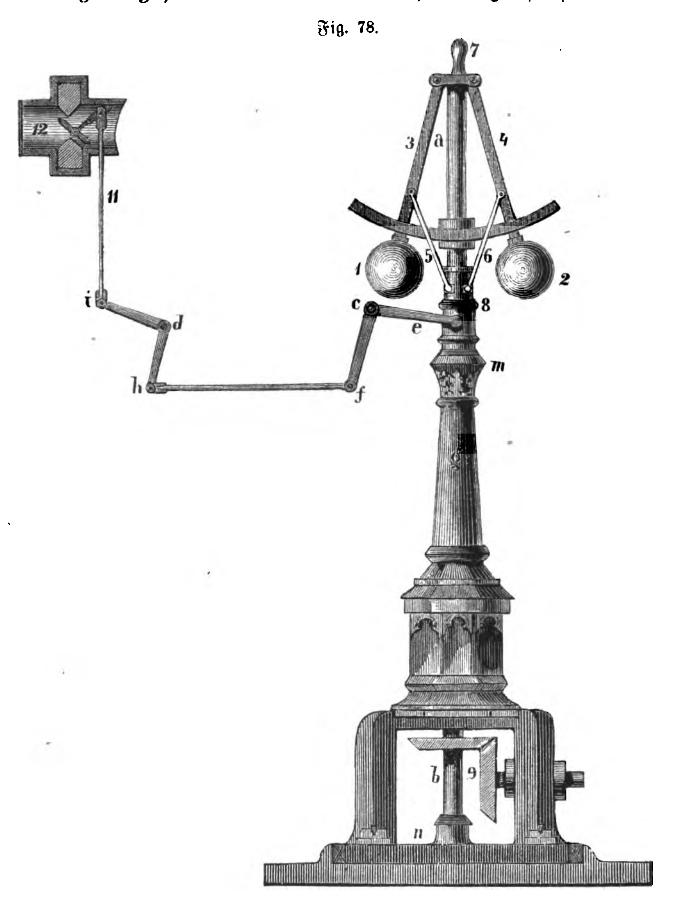
Der Centrifugalregulator oder Schwungregulator besteht aus zwei Metallkugeln, Nr. 1 und 2, die an eisernen Stäben, Nr. 3 und 4, zu beiden Seiten einer lothrecht stehenden Welle herabhängen. Die Stäbe sind gelenkartig oben an die Welle befestigt und können sich nach der rechten oder linken Seite, steigend oder sinkend, bewegen; sie heißen die Arme des Regulators. An den die Kugeln tragenden Armen hängen zwei Verbindungsstäbe, die mit 5 und 6 bezeichnet sind und eine auf der lothrechten Welle verschiebbare Hülse, Nr. 8, tragen.

Da die Stäbe des Regulators an einander und an die Hülse immer nur in einem Punkte befestigt sind, um welchen sie sich drehen können, so fallen die Kugeln, wenn die Welle still steht, zusammen und hängen lothrecht neben ihr herab. Beginnt aber die Maschine zu arbeiten, so erhält die stehende Welle des Regulators die Bewegung von einer darunter liegenden Welle, die durch die Kraft getrieben wird, durch die beiden konischen Räder, Nr. 9, mitgetheilt. Die stehende Welle und die Kugeln drehen sich; durch die Centrifugalkraft werden die Kugeln von einander entfernt und heben die Hülse Nr. 8. Wird die Umdrehungsschnelligkeit der Welle größer, so wächst auch die Centrifugalkraft. Man kann also aus dem Weiterauseinandergehen der Regulatorkugeln und dem Emporsteigen der Hülse sehen, daß die Maschine schneller geht, während bei langsamerem Gange Kugeln und Hülse sinken.

Der Regulator soll jedoch die wachsende oder abnehmende Thätigkeit der Kraft nicht bloß anzeigen, er selbst soll sie auch reguliren und die zu geringe Wirksamkeit der Kraft steigern, die zu große mäßigen. Zu diesem Zwecke ist noch ein Hebel ecf angebracht; der rechte Arm desselben endigt in zwei Zacken, ähnlich den Zinken einer Gabel, und umfaßt mit denselben bei hinreichendem Spielraum eine ringförmige Vertiefung der Hülse, welche der Hals genannt wird. Sollte dieser Hebel den Zufluß des Wassers für eine Mühle reguliren, so würde man seinen linken Arm

mit einem Schutzbrett verbinden, das bei zu starkem Wasserzufluß empor-gezogen werden müßte. Ist der Wasserzufluß zu stark, so geht die Maschine zu schnell, die Welle des Regulators dreht sich mit größerer Geschwindigkeit, die Kugeln gehen weiter auseinander, die Hülse sammt der Gabel

Fig. 78.



des Hebels steigt empor, und der linke Hebelarm mit dem Schutzbrett sinkt und läßt weniger Wasser zufließen. Umgekehrt sinken Kugeln und Hülse bei abnehmender Geschwindigkeit und ziehen, indem sie die Gabel des rechten Hebelarms niederdrücken, das Schutzbrett in die Höhe.

Die Zeichnung stellt die Weise dar, wie der Centrifugalregulator bei den Dampfmaschinen zur Regulirung der Kraft angewandt wird. In dem Dampfrohre, durch welches der im Kessel entwickelte Dampf den zu bewegenden Maschinentheilen zuströmt, befindet sich eine Klappe, die Drosselklappe, Nr. 12, die, wenn sie fast lothrecht steht, den Zufluß des Dampfes verhindert, in schrägen Stellungen etwas Dampf durchströmen

läßt und in wagerechter Stellung gänzlich geöffnet ist. Diese Klappe läßt sich drehen mittels der außerhalb des Rohres befindlichen Stange Nr. 11, welche durch einen Hebel und einen Stab mit dem Regulatorhebel verbunden ist. Ist der Zufluß des Dampfes zu gering, und die Bewegung der Maschine zu langsam, so sinken die Regulatorkugeln, bewegen die Stange abwärts und geben der Klappe eine wagerechte oder doch so schräge Stellung, daß der Dampf reichlich zuströmen kann. Arbeitet die Maschine mit zu großer Geschwindigkeit, so bringt der Regulator die Klappe in eine von der lothrechten nur wenig abweichende Stellung und läßt weniger Dampf hindurchströmen.

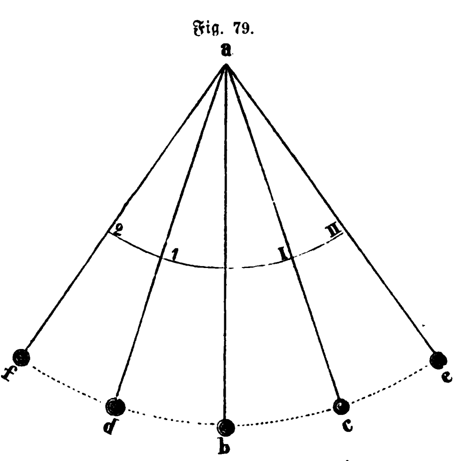
III. Das Pendel.

§. 63. Das Fadenpendel.

Versuch. An eine metallene Kugel (oder einen Ring) werde ein dünner Faden von beliebiger Länge gebunden. Das freie Ende des Fadens befestige man an einen Stab (einen Bleistift) und lege diesen auf den Rand der Tischplatte, so daß der Faden mit der Kugel zur Seite des Tisches hängt und sich frei bewegen kann; damit der Stab festliege, werde ein Brettchen oder ein Buch auf ihn gelegt. Die Kugel wird dem Faden lothrechte Richtung geben, und die ganze Vorrichtung wird im Zustande der Ruhe ein Loth bilden.

Bringt man aber die ruhig hängende Kugel aus ihrer Lage, indem man sie nach der einen Seite schiebt und sie dann sich selbst überläßt, so fällt sie zuerst, von der Schwerkraft hinabgetrieben, und durchläuft einen Kreisbogen eb mit zunehmender Geschwindigkeit. Gelangt sie in die lothrechte Stellung ab, so hat sie ihre größte Geschwindigkeit erreicht. Nach dem Beharrungsgesetze kann sie dieselbe nun nicht plötzlich verlieren, sondern bewegt sich nach der andern Seite hin mit abnehmender Geschwindigkeit aufwärts. Sie müßte gerade bis zu derselben Höhe steigen, von welcher sie gefallen ist, wenn nicht etwas Kraft verzehrt würde, um den Faden zu biegen und den Widerstand der Luft zu überwinden. Daher steigt die Kugel nicht ganz so hoch, als der Punkt e liegt, von dem sie hinabgefallen ist. Beim Ende des Steigens hat sie in f ihre ganze Geschwindigkeit

Fig. 79.



verloren. Da ergreift die Schwerkraft sie von Neuem, um sie in die lothrechte Lage zu führen. Allein wieder kommt das Beharrungsgesetz zur Anwendung; die Kugel steigt, zurückkehrend, empor und gelangt, durch die Luft und die Reibung des Fadens etwas aufgehalten, wiederum nicht ganz bis zu der Höhe, von der sie hinabgesunken ist. Wegen der Schwerkraft und des Beharrungsgesetzes bewegt sich demnach die an dem Faden hängende Kugel in Kreisbogen hin und her, die immer kleiner werden, bis die Bewegung aufhört, wahrnehmbar zu sein. Die Bewegung der Kugel ist eine schwingende, sie ist in Schwingungen versetzt.

Jeden hängenden, in Schwingungen versetzten Körper nennt man ein Pendel, und es giebt kein einfacheres Pendel, als das Fadenpendel, bei welchem der Faden so leicht sein muß, daß sein Gewicht gegen das der Kugel gar nicht in Betracht kommt. Die Dauer einer Schwingung rechnet man vom Anfang des Fallens bis zum Ende des Steigens; jeder Hergang bildet eine Schwingung, ebenso jeder Hingang. Der von dem Pendel durchlaufene Kreisbogen heißt der Schwingungsbogen. Der Versuch lehrt, besonders wenn man das schwingende Pendel sich selbst überläßt und erst nach Verlauf von etwa fünf Minuten wieder beobachtet, augenscheinlich, daß die Schwingungsbogen immer kleiner werden.

§. 64. Gleich lange Dauer der Schwingungen eines Pendels.

Versuch a. Das in §. 63 angewandte Fadenpendel lasse man in kleinen Bogen hin- und herschwingen und zähle, indem man eine Taschenuhr zur Hand nimmt, wie viel Schwingungen das Pendel während der ersten Minute ausführt. Darauf lasse man das Pendel unbeobachtet mehrere Minuten lang weiter schwingen. Etwa in der fünften Minute möge man wieder die Schwingungen zählen; die Schwingungsbogen sind jetzt merklich kleiner; aber die Zahl der Schwingungen wird genau ebenso groß sein, wie in der ersten Minute. Ein und dasselbe Pendel macht demnach in derselben Zeit stets dieselbe Anzahl Schwingungen, obwohl die Schwingungsbogen kleiner werden.

Versuch b. Man fertige sich zwei einander gleiche Pendel, zu denen man sich zwei ungefähr gleich große Kugeln aus Wachs formen, an gleich lange, dünne Fäden befestigen und auf die angegebene Weise nahe bei einander aufhängen kann. Entfernt man beide mit der Hand gleich weit aus der lothrechten Lage, so werden sie jede Schwingung genau in derselben Zeit ausführen; sollte das eine Pendel schneller schwingen, so ist es kürzer, als das andere und müßte verlängert werden, bis beide bei gleichen Schwingungsbogen zu jeder Schwingung dieselbe Zeit gebrauchen. Nun lasse man aber das eine Pendel sehr kleine, das andere etwas größere Schwingungsbogen durchlaufen. Die Schwingungen der beiden gleichen Pendel werden auch dann in durchaus gleicher Zeit vor sich gehen und richten sich gar nicht nach den Schwingungsbogen, sobald dieselben nicht allzugroß werden.

Entfernt man nämlich ein Pendel weiter aus der lothrechten Lage, so ist die Richtung, in der es zu fallen beginnt, eine weit steilere; es fällt, wie von einer steileren schiefen Ebene, hat darum eine größere Geschwindigkeit und durchläuft mit derselben einen größeren Bogen in derselben Zeit, die es bei geringerer Geschwindigkeit zu einem kürzeren Bogen gebraucht. So ergiebt sich als

Erstes Pendelgesetz: Die einzelnen (kleineren) Schwingungen eines und desselben Pendels haben gleich lange Zeitdauer, oder sie sind isochron.

Die Pendelgesetze hat Galiläi (geboren 1564) aufgefunden und ist durch Beobachtung eines schwingenden Kronleuchters auf dieselben geführt worden. Als Student war er eines Tages in dem Dom zu Pisa; der Luftzug hatte einen Kronleuchter, der noch jetzt den Fremden gezeigt wird, in Bewegung gesetzt; die Schwingungen des Kronleuchters fesselten die Aufmerksamkeit Galiläis. Er zählte die Pulsschläge, die auf jede Schwingung kamen, und fand, daß die Anzahl der Pulsschläge dieselbe blieb, obgleich die Schwingungsbogen des Leuchters kleiner wurden. Diese Beobachtung bewog ihn, Versuche mit Metallkugeln anzustellen, die an Fäden hingen, und so die Pendelgesetze zu ermitteln.

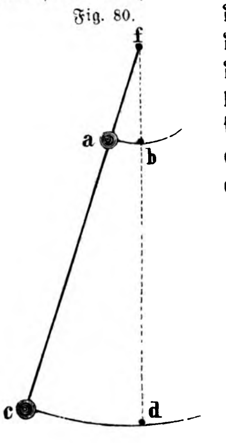
§. 65. Schwingungsdauer ungleicher Pendel.

Versuch a. Man stelle sich mehrere Fadenpendel her, a und b (Fig. 81), und gebe dem einen eine Kugel von Wachs, dem zweiten eine metallene, dem dritten eine hölzerne Kugel; an Größe und Gewicht mögen die Kugeln verschieden sein; aber die Länge der verschiedenen Pendel, vom Mittelpunkt der Kugel bis zum Aufhängepunkte, sei bei allen genau dieselbe. Diese Pendel werden ihre Schwingungen in derselben Zeit ausführen. Es kommt daher für die Schwingungsdauer weder auf das Gewicht, noch auf den Stoff der Kugel, sondern nur auf die Länge des Fadenpendels an. Die Wachskugel und die Metallkugel fallen, wenn man sie gleich weit von der lothrechten Lage entfernt, in gleicher Zeit durch denselben Bogen, da der Widerstand der Luft nicht beträchtlich ist, und lehren, daß die verschiedenen Körper gleich schnell fallen, wenn der Widerstand der Luft nicht in Betracht kommt.

Versuch b. Verkürzt man eins von den zwei gleichen Pendeln, so schwingt es schneller. Um zu beobachten, wie viel Mal so schnell seine Schwingungen sind, verglichen mit denen eines längeren Pendels, hänge man neben einander zwei Pendel, von denen das eine viermal so lang ist, als das andere. Denkt man sich beide zuerst so weit seitwärts geschoben, daß ihre Richtung gleich sehr von der lothrechten Stellung abweicht, so sind die Wege, die sie fallend durchlaufen, gleich schräg, aber nicht von gleicher Länge, und zwar hat das viermal so lange Pendel den Bogen eines viermal so großen Kreises, mithin einen viermal so langen

Bogen, zurückzulegen. Nach dem zweiten Gesetz über den Fall der Körper durchläuft aber ein fallender Körper den vierfachen Weg in doppelter Zeit. Darum ist zu erwarten, daß das viermal so lange Pendel zu einer Schwingung die doppelte Zeit gebrauche. Läßt man nun die beiden Pendel in nicht zu großen Bogen schwingen, so führt in derselben Zeit das längere eine und das kürzere immer zwei Schwingungen aus.

Fig. 80.



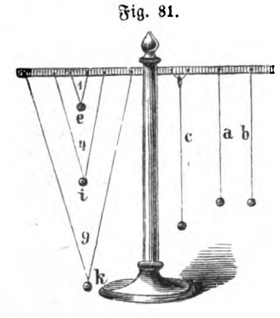
Zweites Pendelgesetz: Längere Pendel schwingen langsamer, als kürzere, und zwar gebraucht ein Pendel von vierfacher Länge die doppelte, von neunfacher die dreifache, von sechszehnfacher die vierfache Zeit zu jeder Schwingung.

§. 66. Das Stangenpendel.

Die Pendelgesetze gelten für jedes Pendel, welche Einrichtung es auch haben mag; nur muß man unter der Länge irgend eines Pendels stets die Länge des einfachen Fadenpendels verstehen, das mit ihm gleiche Schwingungsdauer hat.

Versuch. Eine Drahtstange c (Fig. 81), die unten mit einer Kugel versehen sein kann, was aber nicht nothwendig ist, wird oben zu einem Haken gebogen und in einen Faden eingehängt. Man gebe ihr eine solche Länge, daß sie eben so schnell schwingt, wie das Fadenpendel a. Das Stangenpendel muß länger sein, als das Fadenpendel, mit dem es gleichzeitig schwingt. Es schwingt nämlich nicht allein der untere Endpunkt der Stange; sondern auch alle darüber liegenden Punkte haben Gewicht, sie bilden kürzere Pendel und nöthigen das ganze Stangenpendel, das gleichsam aus ihnen zusammengesetzt ist, zu schnellerer Bewegung. Spricht man von der Länge des Stangenpendels, so ist nicht die wirkliche Länge desselben gemeint, sondern die Länge eines einfachen Pendels, das mit ihm gleich schnell schwingt. Man lasse daher ein Fadenpendel, das man mit der Hand halten kann, neben dem Stangenpendel schwingen und verlängere oder verkürze seinen Faden, bis beide Pendel gleiche Schwingungsdauer haben. Ist die Pendelstange 24 Cm., so wird das mit ihr gleich schwingende Fadenpendel 16 Cm. lang sein, und weil seine Schwingungen denen eines 16 Cm. langen Fadenpendels gleich sind, sagt man von diesem Stangenpendel, es sei ein Pendel von 16 Cm. Länge.

Fig. 81.



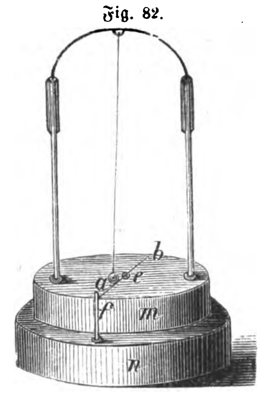
§. 67. Die Pendelschwingungen als Beweis für die Abplattung und die Axendrehung der Erde.

1. Ein Pendel, dessen Länge 1 M. (genauer 994 Mm.) beträgt, macht in unsern Gegenden in jeder Minute 60 Schwingungen, gebraucht also zu jeder Schwingung eine Sekunde und wird ein Sekundenpendel genannt. Die Bewegung des Pendels wird durch die Schwerkraft hervorgebracht. Ist die Schwerkraft an allen Stellen der Erdoberfläche gleich groß, so muß sie einem und demselben Pendel auch überall dieselbe Geschwindigkeit ertheilen und unser Sekundenpendel in den verschiedensten Ländern stets in einer Sekunde durch seinen Schwingungsbogen treiben. Vielfache Beobachtungen haben aber gelehrt, daß unser Sekundenpendel in der Nähe des Aequators weniger, in der Nähe der Pole mehr, als 60 Schwingungen in der Minute macht, oder daß es am Aequator langsamer, nach den Polen zu schneller schwingt. Daraus folgt, daß ein und derselbe Körper am Aequator von der Schwerkraft weniger stark angezogen wird und einen geringeren Druck ausübt, als an den Polen.

Da nun die Schwerkraft desto geringer sein muß, je weiter man sich vom Mittelpunkt der Erde entfernt, und da sie den Pendelbeobachtungen zufolge am Aequator geringer ist, so ist zu schließen, daß jeder Punkt des Aequators vom Mittelpunkt der Erde weiter entfernt ist, als ein Punkt in der Nähe der Pole. Die Erde ist keine vollkommene Kugel, sondern ist abgeplattet und an den Polen etwas eingedrückt, so daß die Erdaxe kürzer ist, als der Durchmesser des Aequators. Außerdem kommt in Betracht, daß die Centrifugalkraft in der Nähe des Aequators am größesten ist und der Schwerkraft entgegenwirkt.

2. Man hat das Pendel auch benutzt, um die Umdrehung der Erde um ihre Axe zu beweisen. Es geht dieser Beweis davon aus, daß ein Pendel in derselben Schwingungsebene beharrt. Nach dem Beharrungsgesetz kann das Pendel nicht selbstthätig die Richtung seiner Bewegung ändern; läßt man es über einer auf eine wagerechte Scheibe gezeichneten Linie seine Schwingungen beginnen, so muß das Pendel über dieser Schwingungslinie sich bewegen, so lange es schwingt, und so lange nicht eine Einwirkung von außen erfolgt. Hängt man nun ein Pendel an einem Gestell auf, das sich um eine von dem Grundbrett getragene lothrechte Axe drehen läßt, und dreht man das Gestell um die Axe, während das Pendel über der Linie abe schwingt, so beobachtet man, daß das Pendel in derselben Schwingungsebene beharrt, welche durch die Punkte e und f des nicht bewegten Grundbrettes bestimmt wird. Allein die Schwingungslinie ab dreht sich, so daß sie bald um 90 und mehr

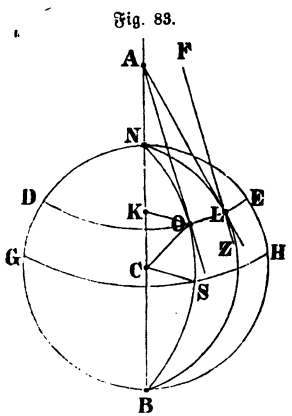
Fig. 82.



Grad von der Schwingungsebene ef des Pendels abweicht, und nach einer halben Umdrehung des Gestelles sich b bei f befindet. Denkt man sich über einem Pole der Erde ein Pendel aufgehängt, so verläßt das Pendel seine Schwingungsebene nicht; aber die auf den Erdboden gezeichnete Linie, über der das Pendel schwingt, muß in 24 Stunden wegen der Axendrehung der Erde eine Umdrehung vollenden und schon nach einer Stunde von der Schwingungsebene abweichen. Eine solche Abweichung der Schwingungslinie muß in allen Orten, die nicht auf dem Aequator liegen, eintreten. Der französische Gelehrte Foucault hat 1851 zu Paris diesen Versuch ausgeführt und dadurch einen neuen Beweis für die Axendrehung der Erde geliefert; damit das Pendel lange schwinge und fremdartigen Einwirkungen nicht ausgesetzt sei, muß es möglichst lang sein, und seine Kugel ein großes Gewicht haben.

Es stelle NEHBGD die Erdkugel vor, NB die Erdaxe, GH die Hälfte des Aequators, und O sei unser Wohnort auf dem Parallelkreise DE. Dann ist NOSB der Meridian des Ortes O, und zieht man eine gerade Linie AO, welche den Meridian nur in dem Punkte O berührt, (die Tangente des Meridians für den Punkt O), so ist diese Linie AO die Nordlinie unseres Horizonts und schneidet die Erdaxe in einem Punkte A. Ueber der Linie AO werde das Pendel in Schwingungen gesetzt. Nun dreht sich die Erde um ihre Axe, und dabei kommt unser Ort O nach L. Jetzt bildet die Nordlinie AL einen Winkel ALF mit der Schwingungsebene FLZ des Pendels. Die Schwingungsebene des Pendels bleibt gegen dieselben Fixsterne gerichtet; ihre Richtung bleibt dieselbe, so daß FL mit AO gleichlaufend ist. Aber die Erde hat sich gedreht, und mit ihr unsere Nordlinie, welche aus der Lage AO in die Lage AL gekommen ist, und deren Richtungen desto mehr von der Schwingungsebene FL des Pendels abweichen, je weiter sich die Erde dreht. Auf dem Aequator tritt eine solche Abweichung nicht ein, weil die Nordlinie für einen Ort des Aequators stets eine Richtung annimmt, die mit der früheren und mit der Erdaxe parallel bleibt.

Fig. 83.

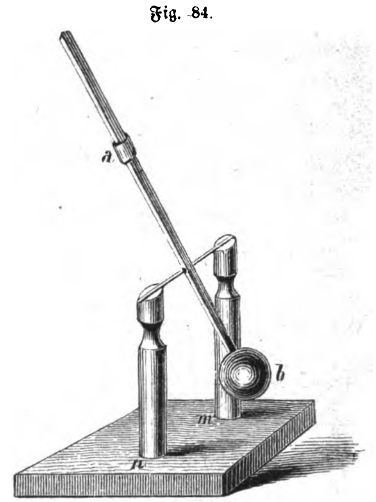


§. 68. Das Pendel als Taktmesser oder Metronom.

Eine Anwendung findet das Pendel auch in der Musik. Das Tempo eines Tonstücks wird durch die allgemeinen Bezeichnungen Adagio, Allegro, Presto keineswegs mit hinreichender Genauigkeit angegeben. Da gleich lange Pendel in nicht weit von einander entfernten Ländern gleich schnell schwingen, läßt das Tempo sich dadurch genau bestimmen, daß man festsetzt, wie viel Schwingungen ein Pendel von vorgeschriebener Länge während eines Taktes ausführen soll.

Der Weber'sche Taktmesser ist ein Fadenpendel; seine Kugel besteht aus Metall; statt an einem Faden, hängt dieselbe an einem seidenen Bande, welches, von dem Mittelpunkte der Kugel aus gerechnet, durch Striche in Centimeter getheilt ist. Der Componist eines Musikstücks giebt für ein schnelles Tempo etwa an „𝅗𝅥 = 31 Cm.", das heißt, die halbe Taktnote soll dieselbe Dauer haben, wie die Schwingung eines 31 Cm. langen Fadenpendels.

Fig. 84.



Ein anderer, von Mälzel erfundener Taktmesser, der für den wirklichen Gebrauch mit einem Uhrwerk verbunden ist, lehrt, wie man die Schwingungen eines Stangenpendels nach Belieben schneller oder langsamer machen kann.

Versuch. Um ein solches Stangenpendel zusammenzusetzen, nehme man zwei Metallstangen oder Stricknadeln, schiebe die eine, welche hin- und herschwingen soll, lothrecht nicht ganz bis zu ihrer Mitte durch einen Kork; das Ende der andern Stange schiebe man wagerecht in den Kork und lege sie als Axe, um welche das Pendel schwingt, auf zwei Ständer oder Gläser. Unten an das Stangenpendel befestige man ein größeres Stück Wachs, über sein oberes Ende schiebe man ein kleineres Stück als Gegengewicht. Dies Gegengewicht des nach oben über seinen Aufhängepunkt verlängerten Pendels muß von demselben gehoben werden, so oft es sich abwärts bewegt, und macht darum dessen Schwingungen langsamer. Je weiter nach oben man das Gegengewicht schiebt, durch einen desto größeren Bogen muß es von dem Pendel bewegt werden, und desto größere Dauer wird jede Schwingung haben. Ein solches Pendel kann durch Verschiebung des Gegengewichts leicht dahin gebracht werden, daß es weit langsamer schwingt, als ein eben so langes Fadenpendel.

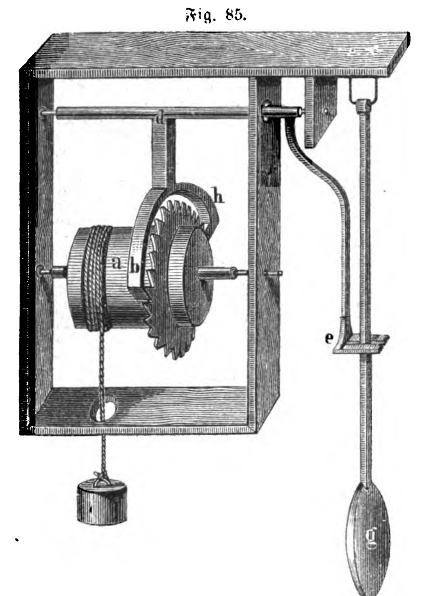
§. 69. Das Pendel als Regulator für Uhrwerke.

Die Zeit läßt sich nicht anders messen, als nach der Dauer einer Bewegung. Obwohl man die gleichmäßige Bewegung der Gestirne dazu geeignet fand, bestrebte man sich doch schon in den frühesten Zeiten, zum Messen der Zeit Vorrichtungen herzustellen, die sich zu jeder Tageszeit bequem beobachten ließen. Man benutzte dazu die Bewegung des Fallens, die durch die Schwerkraft hervorgebracht wird, und erfand Wasseruhren und Sanduhren. Man nahm diejenige Zeit, welche eine gewisse Menge Sand gebrauchte, um durch die Oeffnung eines trichterförmigen Gefäßes in ein anderes zu fallen, als ein Maß, nach welchem man die Dauer eines Tages eintheilen konnte. Später ließ man ein Gewicht

sich hinabbewegen und durch seine Schnur ein Räderwerk in Bewegung setzen; die Zahl der Umdrehungen eines so bewegten Rades sollte ein Maß für die Zeit abgeben. Indessen sind alle diese Bewegungen nicht gleichmäßig und vermögen nicht, gleiche Zeittheile abzugrenzen. Erst durch Anwendung des Pendels gelang es dem Holländer Huyghens um das Jahr 1658, Uhren herzustellen, deren Bewegung eine gleichmäßige ist.

In den Pendeluhren, Thurmuhren, Wanduhren und Stutzuhren, ist die Schwere eines Gewichtes die bewegende Kraft. Die Schnur, an welcher das Gewicht hängt, ist um eine liegende Welle oder Walze a geschlungen und setzt sie wegen der Reibung in Bewegung, während das Gewicht hinabsinkt. Allein, wie jeder fallende Körper, muß auch das Gewicht mit fortwährend zunehmender Geschwindigkeit fallen und seine Bewegung beschleunigen. Die Bewegung der Welle und des ganzen von ihr getriebenen Räderwerks würde also schneller und immer schneller werden, wenn nicht eine Hemmung einträte, welche das Zunehmen der Geschwindigkeit hinderte. Diese Hemmung übernimmt das Pendel und macht aus der beschleunigten Bewegung eine gleichmäßige. Das Pendel bewegt nämlich bei seinen Schwingungen einen Haken mit zwei Zähnen, den Uhranker bh, hin und her, der über einem Rade mit 30 spitzen und schrägen Zähnen, dem Steigrade, angebracht ist. Nach der Zeichnung ertheilt das Gewicht dem Steigrade eine links herum gehende Bewegung; hat das Pendel seine äußerste Stellung nach der rechten Seite, so hemmt es die Bewegung des Rades durch den linken Zahn des Ankers. Zurückkehrend muß nun das Pendel nach links schwingen, der festgehaltene Zahn des Rades wird frei, und das Rad dreht sich ein wenig; ist das Pendel in seine Stellung zur äußersten Linken gelangt, so tritt der rechte Zahn des Ankers, von Neuem hemmend, in das Rad ein. Da die Schwingungen des Pendels in gleichen Zeiten geschehen, so erlaubt es dem Steigrade, absatzweise durchaus gleichmäßig weiter zu gehn. Zugleich bewirkt das Gewicht, daß die Schwingungsbogen des Pendels ungeachtet der Reibung und des Widerstandes der Luft nicht kleiner werden; das Rad drängt Anker und Pendel zu neuer Bewegung. Jeder Zahn des Ankers muß in jede Zahnlücke des Steigrades eingreifen, damit dasselbe eine Umdrehung vollende; der linke Zahn des Ankers greift so oft ein, als das Pendel nach rechts schwingt. Ein Sekundenpendel macht in einer Minute 30 Schwin-

Fig. 85.



gungen nach der rechten Seite und eben so viel nach der linken. Mithin macht jeder Zahn des Ankers seinen Weg durch die 30 Zahnlücken des Rades in einer Minute, und das Steigrad dreht sich in einer Minute mit gleichmäßiger Geschwindigkeit einmal um.

IV. Elastische Federn.

§. 70. Federkraft oder Elasticität.

Ein Stückchen elastisches Gummi läßt sich mit der Hand zusammendrücken; bei aufhörendem Drucke dehnt es sich wieder aus und nimmt seine frühere Gestalt an. Ebenso läßt es sich auseinander ziehen und wird dadurch verlängert; hört man aber auf zu ziehen, so kehrt das Gummi zu seiner früheren Größe und Gestalt zurück. Elastisch oder federnd nennen wir einen Körper, der, wenn irgend eine Kraft ihn zusammengedrückt oder ausgedehnt hat, seine frühere Gestalt und Größe wieder annimmt, sobald jene Kraft zu wirken aufhört.

Kork ist ebenfalls elastisch; wollte man aber eine Korkscheibe eben so stark ausdehnen oder zusammenpressen, wie ein Stück Gummi, so erfolgt ein Zerreißen ihrer Theile, und sie kehren in ihre frühere Stellung nicht wieder zurück. Die Elasticität eines jeden Körpers hat ihre bestimmten Grenzen, die nach Verschiedenheit des Stoffes verschieden sind. Indem sie bedeutende Veränderungen ihrer Gestalt gestatten, zeigen sich sehr elastisch: Stahl, gehämmertes Messing, Elfenbein, Fischbein, Gummi, Darmsaiten und Metallsaiten.

§. 71. Die Elasticität als Ursache von Bewegungen.

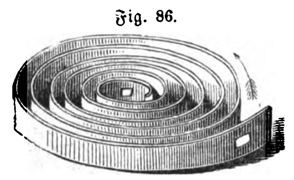
Die elastische Sehne der Armbrust wird durch die Hand des Schützen gespannt und schnellt den Pfeil hinweg, indem sie in ihre frühere Lage zurückkehrt. Der hinab geworfene Gummiball wird an der den Fußboden berührenden Stelle zusammengepreßt, er kann seine frühere Gestalt nicht anders herstellen, als indem er sich vom Boden entfernt, und schnellt empor. Die Flintenschlösser enthalten eine starke stählerne Feder, die Schlagfeder, welche durch das Aufziehen des Hahns gespannt und einstweilen durch eine Hemmung gehindert wird, in ihre frühere Stellung zurückzugehen; beim Abdrücken des Gewehrs wird die Hemmung entfernt, und die Elasticität der Feder bewegt den Hahn abwärts. Auch in Thürschlössern kommen Federn zur Anwendung; wer eine Thür öffnet, spannt dadurch eine Feder, welche das Bestreben zeigt, die Thürklinke wieder zu schließen. Die Springfedern in Sophas und Polsterstühlen dehnen, nachdem sie willfährig dem Drucke nachgegeben, das eingedrückte Polster nachher wieder aus und geben ihm bei aufhörendem Drucke seine frühere Spannung wieder. An großen Scheeren und Zangen, Feilkloben

und Schraubstöcken sind Stahlfedern angebracht, welche diese Werkzeuge öffnen, sobald sie nicht schneiden oder festhalten sollen. Die Schließfedern an Etuis und Kasten werden gleichfalls durch ihre Elasticität bewegt, so daß sie als Befestigungsmittel dienen können; sie tragen einen keilförmigen Haken, der beim Zumachen des Kästchens sammt der Feder zurückbewegt wird und nach vorn zurückkehrend in eine Vertiefung des Deckels gelangt und eingreift. An den stählernen Bügeln für Börsen und Taschen ist die eine Hälfte des Bügels mit einem Haken, die andere mit einer Feder versehen; beim Schließen drängt sich der Haken unter die Feder, bis diese, um ihre frühere Lage wieder zu gewinnen, in die Vertiefung hinter demselben fällt.

§. 72. Die Uhrfeder die bewegende Kraft in der Taschenuhr.

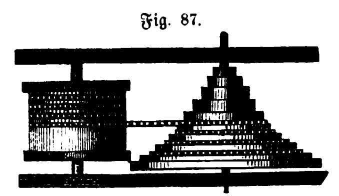
Die bewegende Kraft in dem Werke einer Taschenuhr, Spieluhr oder Spieldose ist eine elastische Feder. Sie besteht aus einem dünnen, langen Stahlstreifen und ist in mehrfachen Windungen spiralförig um ihr eines Ende herumgeführt. An ihrem inneren, von den Windungen umkreisten Ende ist die Feder unbeweglich befestigt, das äußere Ende dagegen kann sich ungehindert bewegen. Zieht man dies freie Ende weiter nach der linken Seite in der Richtung des Pfeils, so werden dadurch die Windungen einander genähert, und die Feder zusammengedrückt oder gespannt. Sie strebt in der Folge sich wieder auszudehnen, das bewegliche Federende kehrt allmählig in seine frühere Lage zurück und bewegt sich in der dem Pfeil entgegengesetzten Richtung. Die Uhrfeder wird von einem cylinderförmigen Gehäuse, dem Federhause, umschlossen; sein oberer und unterer Boden haben in der Mitte eine Oeffnung, so daß es leicht gedreht werden kann. Das bewegliche Federende ist an die innere Wand des Federhauses befestigt und dreht, indem es sich bewegt, zugleich das Federhaus.

Fig. 86.



Allein die Bewegung der Feder und des Federhauses ist durchaus unregelmäßig und kann deshalb ohne Weiteres der Uhr keine regelmäßige Bewegung ertheilen. Ist die Feder stark gespannt, so hat sie ein starkes Bestreben, sich auszudehnen, und wirkt mit größerer Kraft; je mehr sie sich ausdehnt, und je mehr ihre Spannung nachläßt, desto mehr nimmt ihre bewegende Kraft ab. Man überträgt deshalb, um die Bewegung einigermaßen zu reguliren, die Wirkung der Feder und ihres Gehäuses zunächst auf die Schnecke, die auf der rechten Seite der Zeichnung dargestellt ist, während sich links von ihr das Federhaus befindet. Die Schnecke ist ein messingener Kegel, unten von größerem Umfange, als oben, mit einem Wege, der sich als schiefe Ebene schneckenförmig hinauf-

Fig. 87.



windet, und läßt sich um ihre Axe drehen. Unten an die Schnecke ist eine feine stählerne Kette befestigt, das andere Ende derselben sitzt oben an dem Federhause fest. Oben hat die Axe der Schnecke einen viereckigen Zapfen, auf welchen der Uhrschlüssel paßt; durch das Umdrehen desselben beim Aufziehen der Uhr wird die Kette vom Federhaus ab und auf die Schnecke gewunden. Zugleich hat sich das Federhaus umdrehen müssen, und die Feder ist dadurch gespannt worden. Indem sie sich wieder ausdehnt und das Federhaus umdreht, setzt sie mittels der Kette auch die Schnecke in Bewegung. Zuerst wirkt sie mit voller Kraft an den oberen, kleineren Windungen derselben und arbeitet so zuerst an einem kleineren Rad an der Welle, das eine größere Kraft nöthig macht. Hat in der Folge das sich drehende Federhaus sich mit einem Theil der Kette umwickelt, und die Kraft der Feder abgenommen, so zieht sie an den unteren, größeren Windungen der Schnecke, welche, wie ein längerer Hebelarm, zur Drehung geringere Kraft erfordern. Je schwächer die Federkraft wird, an einem desto größeren Wellenrade hat sie zu arbeiten.

§. 73. Die Spiralfeder als Regulator.

In den Pendeluhren wird die Bewegung durch die Hemmung, Pendel und Anker, so genau bestimmt, daß bei jeder Pendelschwingung immer dieselbe Anzahl von Zähnen weiter rückt. In den Taschenuhren besteht die Hemmung aus einer Feder in Verbindung mit einem kleinen Schwungrade; sie ist ebenfalls von Huyghens erfunden worden. Die hierzu verwandte Feder, die Spiralfeder, ist weit schwächer, als die Uhrfeder, welche das ganze Werk treibt, aber von ähnlicher Gestalt. Ihr

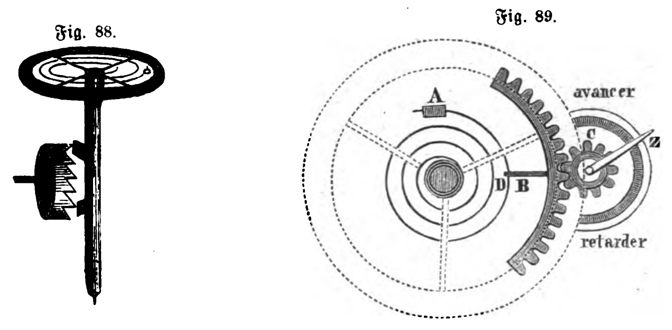
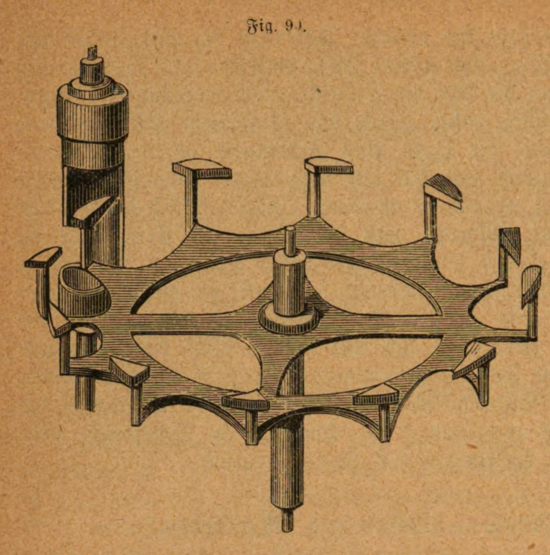


Fig. 88. Fig. 89.

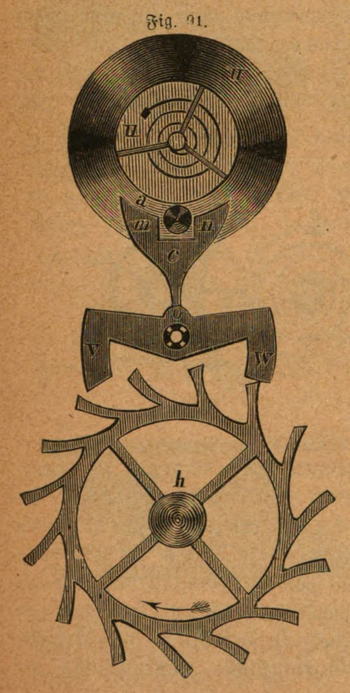
äußeres Ende sitzt unbeweglich an der Uhrplatte fest, während ihr inneres Ende an eine aufrecht stehende bewegliche Welle oder Spindel befestigt ist. Wenig über der Spiralfeder trägt die Welle ein horizontales, metallenes Schwungrad, die Unruhe. Weiter nach unten ist bei der Spindelhemmung (Fig. 88) die Welle mit zwei hervorragenden Flügeln versehen, welche, gleich dem Uhranker, abwechselnd in ein kronförmiges Steigrad greifen. Wird die Unruhe bewegt, so dehnt sie die Spiralfeder aus, und der eine Flügel verläßt das Steigrad. Indem aber die

Fig. 90.



Feder vermöge ihrer Elasticität sich schnell wieder zusammenzieht, dreht sie das Schwungrad und die Welle, bis der andere Flügel in das Steigrad eingreift; dabei hat aber das in seiner Bewegung beharrende Schwungrad die Feder so weit gedreht, daß sie zusammengedrückt ist. Sich ausdehnend, erlaubt sie dem Steigrad wieder weiter zu gehen, wird durch die Bewegung des Schwungrades über ihre frühere Größe ausgedehnt und muß sich nachher wieder zu sehr zusammenziehen. So schwingen denn Spiralfeder und Unruhe regelmäßig hin und her und lassen das Steigrad sich eben so gleichmäßig bewegen, wie es durch Pendel und Anker geschieht. Wie ein längeres Pendel langsamer schwingt, als ein kürzeres, so sind auch die Schwingungen einer längeren Spiralfeder langsamer, als die einer kürzeren. Um daher die Uhr reguliren und nach und nach zu einem richtigen Gange bringen zu können, läßt sich der schwingende Theil der Spiralfeder, der von der Welle bis zur Klammer BD (Fig. 89) reicht, verlängern oder verkürzen. Die Klammer ist an ein Stück eines gezahnten Rades befestigt, das sich unter der Uhrplatte verschieben läßt. In dasselbe greift das kleine Stellrad c, dessen Axe über einer eingetheilten Stellscheibe den Stellzeiger trägt. Indem man die Stellung des Stellzeigers ändert, verlängert oder verkürzt man also die regulirende Spiralfeder.

Fig. 91.



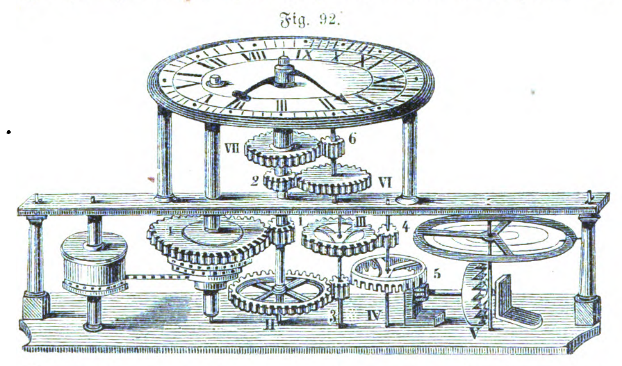
Die Spindelhemmung leidet an folgendem Uebelstande: Bei jedem Zusammenstoß zwischen einem Flügel der Spindel und einem Zahn des Steigrades giebt der Spindelflügel dem Rade einen Stoß, bewirkt dadurch eine rückgängige Be-

wegung des Rades und macht so den Gang des Uhrwerkes unsicher. Frei von diesem Uebelstande ist die Cylinderhemmung (Fig. 90); in den Cylinderuhren bildet die Welle der Unruhe einen hohlen Halbcylinder, in dessen Höhlung die Zähne des Steig- oder Hemmungsrades passen; so lange ein Zahn den Halbcylinder berührt, steht das Rad still, ohne einen Stoß zu erleiden. Weil aber die Welle der Unruhe lange in Berührung mit dem Rade ist, kann die Unruhe nicht frei und ungehindert schwingen; diese Unvollkommenheit ist vermieden bei der Ankerhemmung (Fig. 91). An ein ankerförmiges Stahlstück vow, das sich um o dreht, ist ein Stäbchen emn befestigt; die beiden Zinken umschließen einen in die Unruhe geschraubten Stift a. Die kurzen Zeittheilchen abgerechnet, in welchen ein Zahn des Rades eine Endfläche des Ankers vw berührt oder sich gegen einen Zahn des Ankers stützt, führt die Unruhe ihre Schwingungen ungehindert aus. Cylinder- und Ankerhemmung geben dem Uhrwerk auch ohne Anwendung der Schnecke einen sehr regelmäßigen Gang; deshalb wird in solchen Cylinder- und Ankeruhren, welche für die Zwecke des gewöhnlichen Lebens bestimmt sind, die Schnecke in der Regel weggelassen.

§. 74. Das Werk einer Taschenuhr.

Das Werk einer Taschenuhr wird zum größten Theil zwischen zwei Metallplatten aufgestellt, welche durch mehrere lothrechte Stäbe an einander befestigt sind; nur ein kleiner Theil des Räderwerks, durch den der Stundenzeiger bewegt wird, ist zwischen der oberen Uhrplatte und dem Zifferblatte angebracht. Zwischen den beiden Uhrplatten finden wir in unserer Zeichnung am weitesten nach der linken Seite zuerst das Feder-

Fig. 92.



haus mit der darin eingeschlossenen, das ganze Werk treibenden Feder, etwas weiter nach rechts die Schnecke, deren Einrichtung bereits beschrieben ist, und die mittels der Kette von dem Federhause ihre Bewegung erhält. Die Welle der Schnecke hat oben einen viereckigen Zapfen, der bei vielen Uhren durch eine Oeffnung des Zifferblattes hervorragt und zum Aufziehen der Uhr mit Hülfe des Uhrschlüssels dient. Das an

derselben Welle über der Schnecke angebrachte größere Rad Nr. I., das die Bewegung der Schnecke dem Uhrwerk mittheilt, heißt das Schneckenrad. Indem es in das rechts von ihm befindliche Getriebe Nr. 1 greift, bewegt es das an dessen Welle befestigte Minutenrad Nr. II., welches sich in einer Stunde einmal umdrehen soll und mit seiner oben durch das Zifferblatt hervorragenden Axe den Minutenzeiger trägt. Das Minutenrad überliefert die Bewegung dem Getriebe Nr. 3 und dreht auf diese Weise das Rad Nr. III., das den Namen Mittelrad führt. Weiter bewegt das Mittelrad, in das vierte Getriebe eingreifend, das Kronrad Nr. IV., von welchem das liegende Getriebe des mit Nr. V. bezeichneten Steigrades seine Bewegung erhält. Am weitesten nach der rechten Seite ist die Unruhe mit ihrer Spiralfeder, überhaupt die Hemmung, dargestellt, nach welcher die Bewegung des gesammten Werkes sich richten muß. Die Zeichnung stellt mithin zwischen den beiden Uhrplatten links die Kraftmaschine, rechts die regulirende Maschine und zwischen beiden das die Bewegung fortleitende und die Geschwindigkeit verändernde Räderwerk dar.

Des leichteren Ueberblicks wegen sind die Zahlen der Zähne an den verschiedenen Rädern in der folgenden Uebersicht zusammengestellt.

Nr. I.		Nr. 1.		Nr. III.		Nr. 4.			
Schneckenrad.		Getr.		Mittelrad.		Getr.			
60	:	10		36	:	6			
									Nr. V. Steigrad.
		60	:	6		48	:	6	15
		Minutenrad.		Getr.		Kronrad.		Getr.	
		Nr. II.		Nr. 3.		Nr. IV.		Nr. 5.	

Die gerade Linie zwischen zwei Zahlen soll die gemeinsame Welle vorstellen, an welcher ein größeres Rad und ein Getriebe mit einer kleineren Anzahl Zähne festsitzen; das Zeichen : zwischen zwei Zahlen sagt, daß ein Rad mit der größeren Anzahl Zähne in ein Getriebe mit der kleineren Zahl Zähne eingreift.

Gemeiniglich richtet man die Hemmung so ein und giebt der Spiralfeder an der Unruhe eine solche Länge, daß das Kronrad Nr. IV. sich in einer Minute einmal umdreht. Da es 48 Zähne, also achtmal so viel, als das Getriebe Nr. 5 an der Welle des Steigrades, hat, so würde es sich bei 8 Umläufen des Steigrades einmal umdrehen, und das Steigrad müßte in jeder Minute 8 Umläufe machen. Hat das Steigrad 15 Zähne, so sind zu einem seiner Umläufe 30 Schwingungen der Spiralfeder nöthig, zu 8 Umläufen also $8 \times 30 = 240$ Schwingungen, so daß die Spiralfeder in einer Minute 240, in einer Sekunde 4 Schwingungen ausführt. Da die Uhr bei jeder Schwingung, wenn ein Flügel der Unruhe in das Steigrad greift, hörbar tickt, so läßt sich leicht abzählen, wie viel Schwingungen die Spiralfeder in jeder Minute macht. — Das Getriebe Nr. 4 an der Welle des Kronrades, das zu einer Umdrehung eine

Minute gebraucht, hat 6 Zähne und bewegt das mit 36 Zähnen versehene Mittelrad Nr. III. Wegen seiner sechsfachen Anzahl von Zähnen vollendet es erst bei 6 Umdrehungen des Kronrades, in 6 Minuten einen Umlauf. Das Getriebe an der Welle des Mittelrades, Nr. 3, mit 6 Zähnen, greift in das Minutenrad Nr. II., welches 60 Zähne zählt und darum zehnmal so viel Zeit, als das Mittelrad, also 60 Minuten, zu einer Umdrehung verwendet. Das Minutenrad dreht sich während einer Stunde einmal um; die runde Axe des Minutenrades reicht nach oben durch die obere Uhrplatte und die Mitte des Zifferblattes hindurch; oben auf die Axe ist eine stählerne, durch Reibung festgehaltene Röhre geschoben, und auf deren oberen, viereckigen Theil der längere Zeiger, der Minutenzeiger, befestigt, der in einer Stunde seinen Kreislauf zu vollenden hat. Er wird nicht unmittelbar an die Axe befestigt, damit er sich, wenn man das Aufziehen der Uhr vergessen hat, stellen lasse, ohne daß zugleich das Räderwerk bewegt wird.

Das an der Axe des Minutenrades zwischen den Uhrplatten befindliche Getriebe Nr. 1 hat 10 Zähne und greift in das mit 60 Zähnen versehene Schneckenrad. Daher gebraucht die Schnecke zu jeder Umdrehung sechsmal so viel Zeit, als das Minutenrad, sechs Stunden. Ist die Kette fünfmal um die Schnecke gewunden, so kann die Feder, nachdem die Uhr aufgezogen worden, die Schnecke fünfmal umdrehen, und die Uhr ist, da zu jeder Umdrehung der Schnecke 6 Stunden erfordert werden, erst nach $5 \times 6 = 30$ Stunden abgelaufen. Mitten an der Welle des Schneckenrades befindet sich ein Sperrad, welches gestattet, daß man, ohne das Schneckenrad zu bewegen, die Schnecke selbst mit dem Uhrschlüssel rechts herum bewegen und die Feder spannen kann; dreht sich in der Folge die von der Feder gezogene Schnecke in entgegengesetzter Richtung, so greift ein an dem Schneckenrade angebrachter Haken in einen Zahn des Sperrades, und das Schneckenrad ist dann gezwungen, sich mit der Schnecke zu bewegen.

Ueber der oberen Uhrplatte, unter dem Zifferblatte, sind die Räder angebracht, welche den Stundenzeiger bewegen. Das mit Nr. 2 bezeichnete Getriebe, das an der Axe des Minutenrades festsitzt und sich mit ihm in einer Stunde einmal umdreht, heißt das Minutengetriebe und hat 12 Zähne. Das rechts von ihm aufgestellte Wechselrad Nr. VI. mit 48 Zähnen wird von ihm in vierfacher Zeit, in vier Stunden, einmal umgedreht. So viel Zeit gebraucht daher auch das darüber an der Welle des Wechselrades angebrachte Getriebe Nr. 6, dem 16 Zähne zu geben sind. Es greift in das mit 48, also dreimal so viel Zähnen versehene Stundenrad Nr. VII., welches demnach seinen Umlauf in zwölf Stunden vollenden muß; nur scheinbar sitzt das Stundenrad an der Axe des Minutenrades fest, seine kurze Axe ist eine hohle Röhre, ist mit hinreichendem Spielraum über die Axe des Minutenrades geschoben und durchaus frei beweglich. Diese hohle Axe des Stundenrades ragt etwas über das Zifferblatt hervor, und über dieselbe ist der Stundenzeiger der Uhr geschoben, welcher mit dem Stundenrade seinen Umlauf in zwölf Stunden vollendet.

Mechanische Erscheinungen tropfbarflüssiger Körper.

§. 75. Die große Beweglichkeit der Theile eines tropfbarflüssigen Körpers.

Wenn ein fester Körper in kleinere Theile zerlegt, oder einzelne Stücke von den übrigen getrennt werden sollen, so finden wir es fast immer nöthig, Werkzeuge zu Hülfe zu nehmen und durch dieselben die Arbeit für uns leichter einzurichten. Axt und Säge sind dem zur Hand, der Holz in kleinere Theile zu zerlegen hat, das Messer dem, der Brot abschneiden will, und keilförmige Diamanten dem Glaser, um an bestimmten Stellen die Theile einer Glastafel von einander zu trennen. Die Theile eines festen Körpers hängen, wie daraus hervorgeht, mit merklicher Kraft zusammen und machen einen Aufwand von Kraft und Arbeit nöthig, wenn sie getrennt werden sollen.

Die Anziehungskraft, mit welcher die Theile eines Körpers an einander festhalten, heißt die Kraft des Zusammenhanges oder die Cohäsion. Von der Stärke der Cohäsion hängt es ab, ob ein Körper sich in festem, tropfbarflüssigem oder luftförmigem Zustande befindet (§. 361). Diese drei Zustände, in denen ein Körper, z. B. das Wasser als Eis, als tropfbarflüssiges Wasser und als luftförmiger Wasserdampf, vorkommen kann, heißen die drei Aggregat- oder Cohäsionszustände der Körper. Den festen Zustand bewirkt eine bedeutende, starke, den flüssigen eine geringe Cohäsion; die Theile eines luftförmigen Körpers haben unter einander gar keine Cohäsion (§. 101).

Gering ist der Zusammenhang, welcher die Theile einer Flüssigkeit an einander festhält. Schon wenn man ein mit Wasser gefülltes Glas anstößt oder aus der lothrechten in eine schräge Lage bringt, zeigt es sich, daß Wassertheilchen mit großer Beweglichkeit sich von den ihnen benachbarten hinwegbegeben, sich in die Nähe anderer schieben und in jeder Richtung leicht an einander vorübergleiten. Beim Ausgießen von etwas Wasser trennen sich einzelne Theile gänzlich von der übrigen Wassermasse. Diese große Beweglichkeit und Verschiebbarkeit ihrer Theile nehmen wir an allen Flüssigkeiten wahr, und das ungehinderte Hingleiten der Flüssigkeitstheile neben oder über andere bezeichnen wir mit dem Worte „fließen".

Daß aber die Theile einer Flüssigkeit unter einander sich anziehen und zusammenhängen, beweisen folgende Versuche:

Versuch a. Zieht man ein reines, in Wasser getauchtes Stäbchen schnell aus der Flüssigkeit, so zieht man einen Wasserfaden mit empor, in welchem ein Wassertheilchen sich an das andere gehängt hat.

Versuch b. In ein bereits volles Gefäß kann man behutsam noch so viel Wasser zugießen, daß es einen Berg darüber bildet. Die Theile der Flüssigkeit halten zusammen und gestatten der Schwerkraft nicht, die höher gelegenen schräg abwärts zu ziehen.

Versuch c. Sehr deutlich zeigt sich die Cohäsion an dünnen Schichten, die man in verschiedener Größe aus den verschiedenen Flüssigkeiten herstellen kann. Man bereite sich in einer Untertasse Seifenwasser, am besten aus Glycerinseife oder aus der venetianischen Seife der Apotheker. In das Seifenwasser taucht man einen Drahtring von 6 bis 8 Cm. im Durchmesser, den man aus Eisendraht gebogen, und dessen Enden man so mit einem Faden zusammengebunden hat, daß das längere Ende als Stiel zum Anfassen dient. Hebt man den Ring, der überall benetzt sein muß, aus dem Seifenwasser, so erscheint in ihm eine sehr dünne Flüssigkeitsschicht ausgespannt. Bläst man auf dieselbe, so dehnt sich dieselbe zu einer Halbkugel aus; hört man aber mit Blasen auf, so zeigt sich die gegenseitige Anziehung der Flüssigkeitstheile dadurch, daß sich die Flüssigkeitsschicht zu einer ebenen Fläche zusammenzieht. Fehlte der Flüssigkeit die Cohäsion, so wäre weder die Bildung der dünnen Schicht möglich, noch könnte diese dem schwachen Blasen Widerstand leisten. Weniger deutlich fällt der Versuch aus, wenn man in das Seifenwasser die Oeffnung eines Trinkglases taucht. Aus gewöhnlichem Wasser läßt sich mittels eines Drahtringes, der schnell aus dem Wasser gehoben werden muß, eine ähnliche dünne Flüssigkeitsschicht bilden; sie hat geringere Ausdehnung, etwa 1 Cm. Durchmesser und geringere Dauer, beweist aber das Vorhandensein der Cohäsion zur Genüge.

Fig. 93.

Versuch d. Eine feine Nadel, vorsichtig auf die Oberfläche des Wassers gelegt, sinkt nicht unter. In die Flüssigkeit eingetaucht, sinkt sie zu Boden. An der Oberfläche ist daher der Zusammenhang einer Flüssigkeit stärker, als im Innern. Dort kann das Gewicht der Nadel das Wasser nicht zertheilen; im Innern trennt sie die Wassertheilchen leichter.

§. 76. Die Kugelgestalt kleiner Flüssigkeitsmassen.

Versuch. Man nehme ein Stückchen Papier und tränke es mit Oel oder Fett. Am einfachsten wählt man dazu ein Stück von einem Stearinlichte, hält es an eine Lichtflamme, bis das eine Ende schmilzt, und berührt mit der schmelzenden Stelle mehrmals das Papier. Bringt man eine sehr kleine Wassermenge, so viel, als an einer in Wasser getauchten

Messerspitze hängen bleibt, auf das mit Fett getränkte Papier, so ordnet sich das Wasser zu einer kleinen Kugel und bildet Tropfen. Wie kleine Wassermengen dies auf einer fettigen Fläche thun, so sehen wir auch frei herabfallende kleine Flüssigkeitsmassen sich um einen Mittelpunkt ordnen und von selbst Kugelgestalt annehmen. Fehlte der Flüssigkeit die Cohäsion, so würden die Tropfen auseinander fallen und sich in feinen Staub zertheilen.

Thränen, welche die Wangen hinabrollen, Regentropfen, die einzeln herabfallen, und der Thau, den wir in der Gestalt von Kügelchen an Grashalmen und den Spitzen der Blätter antreffen, sind Tropfen, die sich aus Wasser gebildet haben. Tropfbar nennen wir jede Flüssigkeit, welche fähig ist, Tropfen zu bilden, außer dem Wasser vornehmlich Spiritus, Oele, Quecksilber und geschmolzene Körper. Eine Anwendung der Tropfenbildung ist die Bereitung des Bleischrotes. Das in eisernen Gefäßen geschmolzene, das heißt, tropfbar flüssig gewordene Blei wird auf einem 50 M. hohen Thurme durch ein Sieb gegossen und ist beim Hinabfallen bis auf den Erdboden sich selbst überlassen; nachdem es die Oeffnungen des Siebes verlassen, nehmen die beim Fälle sich zertheilenden Massen Kugelgestalt an und werden unterwegs fest, indem sie sich abkühlen.

Der Druck einer tropfbaren Flüssigkeit.

§. 77. Allseitige Verbreitung des auf eine Flüssigkeit ausgeübten Drucks.

Bei der großen Beweglichkeit, die in einer Flüssigkeit herrscht, bringt die bewegende Kraft auf dieselbe Wirkungen hervor, die sich von den auf feste Körper ausgeübten bedeutend unterscheiden. Wenn ein auf dem Tische liegender einzelner fester Körper, beispielsweise ein Buch, von der Hand, die sich nach rechts bewegt, gezogen wird, so bewegt es sich in der Richtung der bewegenden Kraft, nach rechts. Wird auf das Buch ein Gewicht gestellt, so wird in der Richtung der Schwerkraft ein Druck von oben nach unten ausgeübt; keineswegs aber bewegt sich und drückt dabei das Buch merklich nach rechts oder links. Ganz andere Erscheinungen zeigen tropfbarflüssige Körper. Die in ihnen stattfindenden Vorgänge können wir uns, da sie aus Tropfen zusammengesetzt sind, vorläufig anschaulich machen, indem wir eine Menge kleiner Kugeln neben und auf einander legen.

Vorbereitender Versuch. Auf dem Tische liegen dicht neben einander einige Reihen Schrotkörner oder Erbsen; auf dieselben lege man behutsam eine zweite Reihe. Stellt man auf diese ein Gewicht oder irgend einen

andern festen Körper, so werden die oberen Schrotkügelchen hinabgedrückt und bewegen sich abwärts. Dabei drängen sie sich zwischen die unter ihnen befindlichen und treiben dieselben nach allen Seiten auseinander, nach rechts und links, der dem Beobachter zugewandten und der von ihm abgewandten Seite. Der durch die Schwerkraft veranlaßte Druck hat in dem Haufen Kugeln nicht bloß eine Bewegung und einen Druck nach unten, sondern zugleich eine Bewegung nach allen Seiten zur Folge gehabt. Sind an den Seiten Wände, welche der Bewegung widerstehen, so erfahren sie einen Druck, und der Druck von oben her bewirkt dann einen Druck nach unten und nach allen Seiten. Daher werden Säcke, in denen sich Getreide, Mehl oder Sand befindet, durch den sich nach den Seiten verbreitenden Druck gespannt erhalten.

Versuch a. Gießt man eine größere Menge Wasser mitten in eine Schüssel, so wird sie durch den Druck der oberen Flüssigkeitstheile nach allen Seiten aus einander getrieben und zerfließt. Ist sie bis an die festen Seitenwände des Behälters gelangt, so leisten diese dem weiteren Zerfließen Widerstand und setzen ihm eine Grenze; daher erhalten größere Flüssigkeitsmassen eine Gestalt oder Umgrenzung durch ihre Behälter.

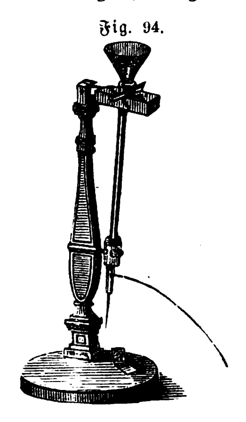
Versuch b. In einem kleinen, hölzernen oder zinnernen Eimerchen werde die Seitenwand unten über dem Boden durchbohrt. Gießt man Wasser ein, so fließt es zu der Oeffnung hinaus; es bewegt sich nach der Seite, weil die Schwerkraft die oberen Flüssigkeitstheilchen abwärts zieht und dadurch die unteren nach allen Seiten verdrängt.

Versuch c. Man fette die Stelle des Eimerchens unmittelbar unter der gebohrten Oeffnung mit etwas Talg oder Stearin an, damit das Wasser nicht von der Außenwand des Eimers angezogen werde und an derselben hinablaufe, und binde oben an den Eimer einen kurzen Faden. Unten unter dem Boden kitte man mit Wachs ein 30 Cm. langes Drahtstück an, das lothrechte Richtung haben soll, wenn man den leeren Eimer an dem Faden hält. Dann stelle man auf den Tisch einen Kork, aus dem oben eine Nadelspitze hervorragt, und halte das Gefäß an dem Faden so, daß das untere Ende des Drahts sich genau über der Nadelspitze befindet. Draht und Nadel dienen, die eintretende Bewegung deutlicher zu erkennen. Gießt man nun Wasser in das Gefäß, so fließt es aus, und das Gefäß bewegt sich aus der lothrechten Stellung nach der der Oeffnung gegenüberliegenden Seite und hängt schräg. Das Wasser unten in dem Eimerchen strebt, sich nach allen Seiten hin zu bewegen, und übt deshalb ringsum einen Druck aus; nach der einen Seite fließt es wirklich aus und bewirkt hier keinen Druck; nach der gerade gegenüberliegenden Seite drückt es und bewegt dahin das ganze Gefäß.

Am besten gelingt der Versuch, wenn man sich dazu der Vorrichtung bedient, die in der Figur dargestellt ist. Ueber die Röhre eines gläsernen Trichters von 6 Cm. Durchmesser ist bis dicht unter den weiteren Theil des Trichters ein hölzerner oder metallener Cylinder geschoben und festgekittet. In diesen Cylinder sind die beiden Theile einer dreikantigen

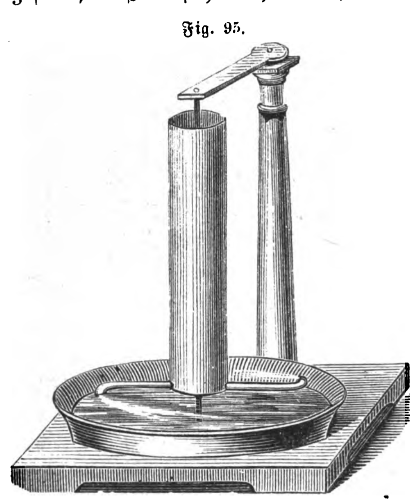
Axe befestigt. Mit der unteren Kante derselben hängt die Vorrichtung in den bogenförmigen Ausschnitten zweier Metallbleche. Unten an die Röhre des Trichters kittet man eine leichte Metallröhre, so daß die ganze Röhre 13 Cm. lang wird. Nahe dem unteren Ende erhält die Metallröhre eine Bohrung für das ausfließende Wasser. Ueber die Röhre läßt sich ein kurzer Cylinder c schieben; indem man denselben höher oder tiefer stellt, giebt man dem Schwerpunkt der ganzen Vorrichtung die für den Versuch günstige Stellung. Der unten an die Röhre befestigte Draht und das auf dem Grundbrett liegende, einmal rechtwinklig umgebogene Blech a dienen dazu, die Stellung der Vorrichtung vor dem Eingießen des Wassers anzugeben.

Fig. 94.



Durch den einseitigen Wasserdruck wird das **Segner'sche Wasserrad**, das sich zum Treiben von Maschinen verwenden läßt, in drehende Bewegung gesetzt. Ein cylinderförmiges, oben offenes Gefäß (Fig. 95) ist so aufgestellt, daß es sich leicht um seine lothrechte Axe drehen kann; aus seinem unteren Theile führen zwei bis vier Seitenröhren, von denen jede an ihrem Ende selbst verschlossen ist, aber durch eine dem Ende nahe Seitenöffnung dem Wasser gestattet, auszuströmen; diese Seitenöffnungen müssen an allen Röhren nach derselben, etwa nach der linken Seite zu, liegen. Dann drückt das Wasser die Röhren nach der entgegengesetzten Seite hin und dreht sie, wie eine an die Speichen eines Wasserrades angreifende Kraft.

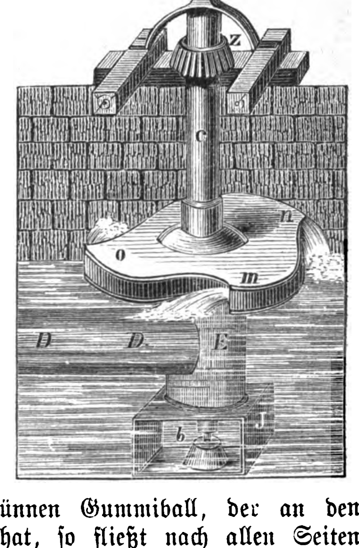
Fig. 95.



Eine Anwendung des Segner'schen Wasserrades bilden **die Turbinen** (Reactionsräder oder horizontalen Wasserräder). Aus der Zeichnung (Fig. 96) ist die Einrichtung der schottischen Turbinen zu ersehen. Eine lothrechte Welle acb läßt sich in den Zapfenlagern a und b in drehende Bewegung setzen, von denen das untere Zapfenlager b sich in einem wasserdichten Gehäuse J befindet. Die Welle trägt das horizontale Rad mno; dasselbe enthält drei Kanäle, die nahe der Welle beginnen und so gekrümmt sind, daß das Wasser aus ihren Oeffnungen am Umfange des Rades m, n und o in der Richtung der Tangenten ausfließt. In das Rad gelangt das Wasser aus dem darunter angebrachten Cylinder E, und in diesen tritt es aus der Zuleitungsröhre DD ein. Die Verbindung zwischen dem Cylinder E und

dem Rade bildet eine an dasselbe befestigte lothrechte Röhre, der Hals, der wasserdicht an die obere Wand des Cylinders schließt; durch Lederscheiben wird verhindert, daß durch den unteren Boden des Cylinders, durch welchen die Welle nach b geführt ist, Wasser hindurchdringt. Das Rad wird in Umdrehung gesetzt durch den Wasserdruck, welcher nach der dem ausfließenden Wasser entgegengesetzten Seite wirksam ist.

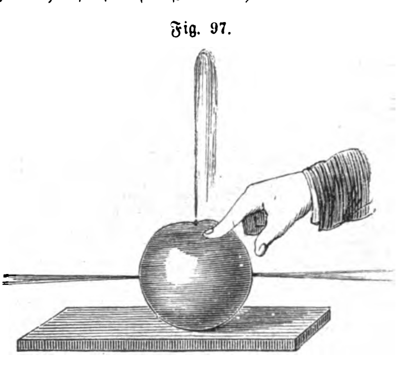
Fig. 96.



Versuch d. Taucht man in ein Glas mit Wasser einen nicht zu kleinen festen Körper, den man mit der Hand festhält, so drückt man die unter ihm befindlichen Wassertheile abwärts. Zusammengedrückt kann die tropfbare Flüssigkeit fast gar nicht werden. Deshalb suchen die gedrückten Theile zu entweichen, andere werden nach oben gedrückt, und das Wasser steigt.

Versuch e. Drückt man von oben her auf einen mit Wasser gefüllten dünnen Gummiball, der an den verschiedenen Seiten kleine Oeffnungen hat, so fließt nach allen Seiten Wasser aus. Der von oben her auf das Wasser ausgeübte Druck hat zur Folge, daß das Wasser nach allen Seiten hinausgedrückt wird; der Druck hat sich daher im Wasser nach allen Seiten verbreitet.

Fig. 97.



Ein auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck bewirkt daher nicht bloß einen Druck oder eine Bewegung in derselben Richtung oder in gerader Linie; sondern die Flüssigkeit leitet ihn nach jeglicher Richtung fort, nach unten, oben, rechts oder links.

Gesetz: Jede auf eine Flüssigkeit drückende Kraft bewirkt in derselben einen Druck nach allen Seiten.

Wegen solcher allseitigen Beweglichkeit und Verbreitung des Druckes ist die Schwerkraft im Stande, der Oberfläche der tropfbaren Flüssigkeiten eine bestimmte Gestalt zu geben und ihrem Druck, wie ihrer Bewegung, besondere Gesetze vorzuschreiben.

§. 78. Die wagerechte Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit.

Versuch. Man gieße Wasser in ein weites Trinkglas und beobachte die Gestalt seiner Oberfläche; zuerst sieht man die durch das Eingießen in Bewegung gesetzte Flüssigkeit sich hin- und herbewegen und erst nach und nach ihre Bewegung verlieren. Ist sie in den Zustand der Ruhe gelangt, so bildet ihre Oberfläche eine wagerechte Ebene. Auch an jedem nicht bewegten Teich oder See ist die Beobachtung leicht zu machen, daß ihre Oberfläche, der Wasserspiegel, sich wagerecht stellt.

Gesetz: Die Oberfläche einer tropfbaren Flüssigkeit bildet im Zustande der Ruhe eine wagerechte Ebene.

Ist durch einen Windstoß oder irgend eine bewegende Kraft an einer Stelle eine Erhöhung der Wasseroberfläche hervorgebracht, so wird die emporgetriebene Wassermasse durch die Schwerkraft hinabgezogen. Die Flüssigkeitstheilchen müssen sich von ihrer Höhe, wie von schiefen Ebenen (Fig. 98), hinabbewegen, und der Wasserberg muß bei der großen Beweglichkeit einer Flüssigkeit, wegen des Drucks der oberen Theilchen, nach allen Seiten hin zerfließen. So muß es mit jeder zufällig entstandenen Erhöhung geschehen, und der Stand der ruhenden Flüssigkeit muß darum

Fig. 98.

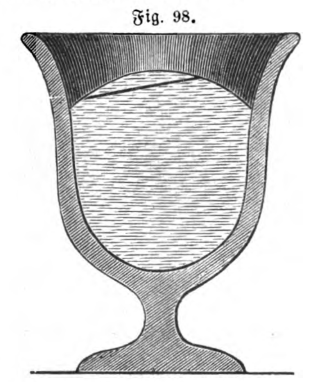
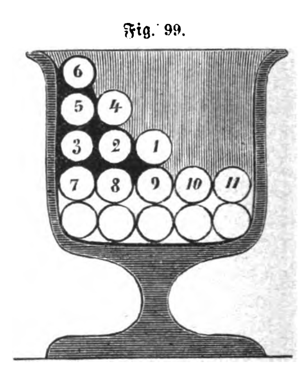


Fig. 99.



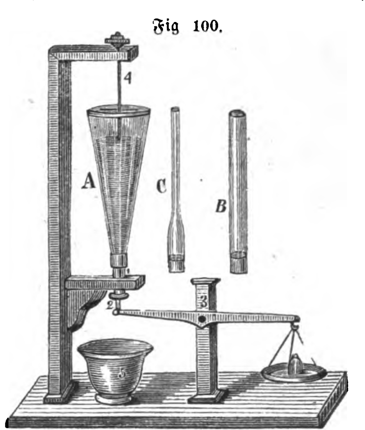
wagerecht sein. Hätten sich die Wassertheilchen 1 bis 6 (Fig. 99), durch irgend eine Kraft getrieben, über den Wasserspiegel erhoben, so drücken dieselben auf die unter ihnen befindlichen Wassertheilchen 7 bis 9. Diese erfahren von rechts her einen geringeren Druck, bewegen sich also nach rechts und bewegen die Wassertheile 10 und 11 und sich selbst nach oben, bis eine wagerechte Wasseroberfläche hergestellt ist. In den Meeren macht die Wasseroberfläche einen Theil von der gekrümmten Erdoberfläche aus und hat kugelförmige Gestalt.

§. 79. Größe des Wasserdrucks auf den Boden eines Gefäßes.

Wenn ein Gefäß überall gleich weit, und seine Wände lothrecht sind, dann hat der Boden gerade den ganzen Druck der Flüssigkeit zu tragen. Hält ein solches Gefäß 1 Liter oder Kubik-Dm. Wasser von 1 Klgr. Gewicht, so erleidet der Boden einen Druck von 1 Klgr.

Um die Größe des Drucks auf den Boden unregelmäßiger Gefäße zu ermitteln, die oben enger oder weiter sind, als unten, bedient man sich der Pascal'schen Vasen (Fig. 100). Von einem hölzernen Gestell wird eine, mit Nr. 1 bezeichnete, kurze Messingröhre in lothrechter Stellung getragen; oben ist sie an der Außenseite mit Schraubengängen versehen, um andere Gefäße aufschrauben zu können. Diese gläsernen Gefäße oder Vasen sind von verschiedener Gestalt; doch sind alle oben und unten offen, alle unten gleich weit und mit einer messingenen Fassung versehen, damit sie sich auf die von dem Gestell getragene Messingröhre aufschrauben lassen. Nach der Zeichnung ist eine oben weitere Glasröhre aufgeschraubt. Die befestigte kurze Messingröhre Nr. 1. hat ferner unten keinen Boden, ist jedoch hier sorgfältig eben geschliffen. Eine Metallplatte Nr. 2. ist eben so sorgfältig geschliffen und verschließt die Messingröhre, falls sie von unten dagegen gedrückt wird, so genau, daß kein Wasser unten aus der Röhre fließen kann. Gegen die Mitte der Metallplatte, die als beweglicher Boden dient, drückt der nach oben umgebogene Arm eines leicht beweglichen Hebels, der in dem mit 3 bezeichneten Punkte seinen Drehungspunkt hat und mit seinem rechten Arm eine Wageschale trägt. Man legt in die Schale etwas mehr kleine Gewichte und Schrotkörner, als man für nöthig erachtet, um dem Druck des Wassers auf den beweglichen Boden das Gleichgewicht zu halten, und gießt in die aufgeschraubte Glasröhre Wasser bis zu einer beliebigen Höhe. Um nachher zu wissen, wie hoch dasselbe gestanden, schiebt man den Draht Nr. 4, der sich an seinem Träger auf- und abbewegen läßt, in gleiche Höhe mit der Wasseroberfläche. Darauf nimmt man aus der Wageschale ein Gewichtstück nach dem andern hinweg. Endlich wird der Druck des Hebels auf die untere Seite des beweglichen Bodens kleiner, als der Druck der Wassersäule auf denselben; sie drückt den beweglichen Boden hinab und fließt in das darunter gestellte Gefäß Nr. 5. Nunmehr schraubt man die Glasröhre ab und statt ihrer die überall gleich weite Glasvase auf; gießt man Wasser in dieselbe, so reißt sein Druck dann den beweglichen Boden los, wenn das Wasser die durch den Draht bezeichnete Höhe erreicht. Jetzt ist der Wasserdruck offenbar gleich dem Gewicht der Wassersäule, die den Boden zur

Fig 100.



Grundfläche hat und sich bis an den Wasserspiegel erhebt. Dasselbe tritt bei dem oben engeren und bei beliebig gestalteten Gefäßen ein; in ihnen zeigt sich der Bodendruck genau eben so groß, wenn die Wassersäule dieselbe Höhe erreicht hat. Bei allen diesen Versuchen ist, da die Gefäße unten gleich weit sind, für alle derselbe Boden geblieben; dagegen ist die Gestalt der Gefäße und die in ihnen enthaltene Wassermenge sehr verschieden, aber auch ohne allen Einfluß. Daher gilt über die Größe des Bodendrucks das

Gesetz: Der Druck des Wassers auf den Boden eines Gefäßes richtet sich nicht nach der Gestalt des Gefäßes, sondern ist stets gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Höhe des Wasserspiegels zur Höhe hat.

Eine Wasserflasche habe einen 9 Quadrat-Cm. großen Boden, und das Wasser stehe in ihr 10 Cm. hoch; wie groß ist der Druck, den der Boden auszuhalten hat? Die Form der Flasche kommt nicht in Betracht; sondern der Druck ist bei jeglicher Form so groß, als lastete auf dem 9 Quadrat-Cm. großen Boden eine Wassersäule von 3 Cm. Breite, 3 Cm. Länge und 10 Cm. Höhe. Diese Wassersäule schließt $9 \times 10 = 90$ Kubik-Cm. Wasser in sich und hat (§. 3) ein Gewicht von 90 Gramm; so groß ist der Druck der in der Flasche enthaltenen Wassermasse auf ihren Boden.

Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als vollbringe nach dem aufgefundenen Gesetz eine kleine Wassermasse dieselbe Leistung, wie eine große, und dies würde auffallend oder parador sein. Daher heißt das Gesetz selbst das hydrostatische Paradoxon. Allein nach §. 16 ist der Druck allein noch gar keine Arbeit oder Leistung; er wird es erst, wie bei den Pressen, wenn er eine Bewegung hervorbringt; die kleinere Wassermasse wird dann den gleichen Druck nur auf einem kürzeren Wege, eine kürzere Zeit lang ausüben können.

Der bewegliche Boden der Pascal'schen Vorrichtung sei mit einem aufwärts stehenden, anschließenden Rande versehen und könne sich etwa 3 Cm. abwärts bewegen, ohne daß Wasser ausfließe. Unter dem beweglichen Boden mögen Stoffe liegen, die zusammengepreßt werden sollen, und ein oben sich verengerndes Gefäß sei aufgeschraubt. Sobald der Druck der darin enthaltenen geringeren Wassermasse zu arbeiten beginnt, den Boden hinabbewegt und die Stoffe zusammenpreßt, in demselben Augenblicke sinkt sie tief hinab, um den weiteren Raum in der Nähe des Bodens zu füllen, und zeigt, daß sie mit dem großen Druck kaum einen Augenblick etwas zu leisten vermag. In einem oben sich erweiternden Gefäß wird die Höhe des Wassers nur wenig abnehmen. Die Leistungen der ungleichen Wassermassen sind daher durchaus ungleich; beide Wassersäulen beginnen mit gleicher Kraft zu arbeiten; allein die kleinere Wassermasse arbeitet kaum einen Augenblick, die größere desto längere Zeit, je mehr sich das Gefäß oben erweitert.

§. 80. Die Real'sche Extractpresse.

Eine Anwendung von dem Druck einer Flüssigkeit auf den Boden ist die von dem Grafen Real erfundene Presse, die zu chemischen Zwecken, zur Bereitung von Extracten, gebraucht wird. Sie besteht aus einem cylinderförmigen Metallgefäß mit starken Wänden, in welches sich oberhalb des unteren Bodens eine siebartig durchlöcherte Metallplatte einlegen läßt. Auf diese Platte schüttet man den Stoff, aus welchem der Extract gewonnen werden soll, nachdem er zerkleinert und angefeuchtet worden ist, drückt ihn fest zusammen und setzt über ihm eine zweite siebartige Metallplatte ein. Auf den oberen Theil des Gefäßes wird der genau anschließende Deckel gesetzt und an seinem Rande durch Schrauben an das Gefäß befestigt. Durch die Mitte das Deckels führt aufwärts eine lothrechte, enge Röhre von 1 bis 3 M. Länge; in den obern Theil der Röhre gießt man die Flüssigkeit, mittels deren der Extract bereitet werden muß, Wasser oder Spiritus. Der Druck auf den auszupressenden Stoff ist dann so groß, wie das Gewicht einer Flüssigkeitssäule von dem Umfang der siebartigen Platten und der Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit die Röhre erfüllt. Mit einer geringen Flüssigkeitsmenge wird daher ein großer Druck ausgeübt, und ein kräftiger Extract gewonnen. Um den Extract oder die Tinctur in ein untergestelltes Glas ausfließen zu lassen, hat das Gefäß der Presse unten eine Ausflußröhre, welche, ähnlich den Ausflußröhren an Kaffee- und Theemaschinen, mit einem Hahn versehen ist und durch Umdrehen desselben beliebig geöffnet oder geschlossen werden kann. Soll nur wenig Extract ausgepreßt werden, dann bedarf die lothrechte Röhre oben nur einer geringen Erweiterung; dauert aber die Arbeit längere Zeit, dann muß man oben ein weites Gefäß anschrauben und in dasselbe eine größere Flüssigkeitsmasse gießen, die länger arbeiten kann.

Fig. 101.

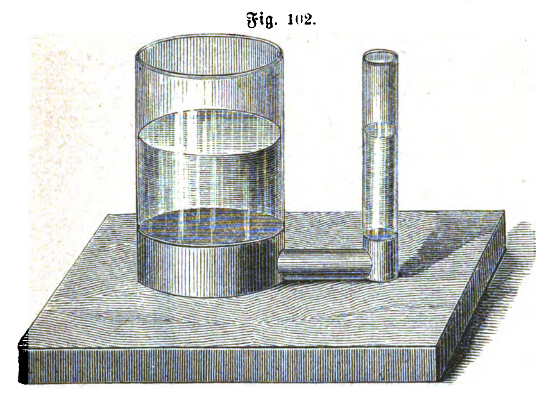
§. 81. Communicirende Gefäße oder Röhren.

Versuch a. In ein mit Wasser gefülltes Trinkglas tauche man eine nicht zu enge, oben und unten offene Glasröhre, etwa eine Chlorcalciumröhre. Da die Röhre unten offen ist, so kann das Wasser aus dem Gefäße ungehindert in dieselbe gelangen, und man sagt, die Röhre communicire mit dem Gefäße. Röhren oder Gefäße, die so mit einander

verbunden sind, daß eine tropfbare Flüssigkeit aus dem einen in das andere gelangen kann, heißen communicirende Röhren oder Gefäße. Der Versuch lehrt, daß das Wasser in beiden communicirenden Röhren, in dem Glase und der eingetauchten Röhre, sich gleich hoch stellt; der Wasserspiegel in beiden wird in einer wagerechten Ebene liegen.

Versuch b. Für die Chlorcalciumröhre werde ein Kork gewählt, der sie genau verschließt. Derselbe werde mit einer runden Feile durchbohrt, und in die Bohrung werde, fest anschließend, der kürzere Arm einer zweimal umgebogenen Gasleitungsröhre geschoben. Statt der weiteren Chlorcalciumröhre läßt sich ebenso gut ein Probircylinder verwenden, wenn man sein verschlossenes Ende mittels einer dreikantigen Feile abnimmt; man feilt zu diesem Zwecke rings um die Stelle, wo der Cylinder zerschnitten werden soll, unter schwachem Drucke so lange, bis die Trennung von selbst erfolgt. Nun gieße man in den Probircylinder oder die Chlorcalciumröhre Wasser; es kann in die Gasleitungsröhre gelangen, beide Röhren communiciren, und die Oberflächen des Wassers liegen wieder in einer wagerechten Ebene. Darauf halte man die Röhren schräg in beliebigen Stellungen; stets werden die Wasserspiegel in horizontaler Linie liegen. Läßt man von einem Klempner die Verbindungsröhre und die metallenen Fassungen machen, so kann man leicht nach der Zeichnung zwei communicirende Röhren herstellen.

Fig. 102.



Dieselbe Erscheinung zeigen uns Gießkannen und Theekannen, in denen die Flüssigkeit gerade ebenso hoch steht, wie in der Ausgußröhre, und ein in Wasser getauchter Trichter. Im Großen bietet das Grundwasser dieselbe Erscheinung; wir sehen in Teichen und Brunnen, die sich in der Nähe von Flüssen befinden, die Wasseroberfläche gleichzeitig mit der des Flusses fallen und steigen; es sind in dem lockeren Erdreich mannichfache Verbindungen, sich hin und her windende Röhren vorhanden, durch welche beide Wassermassen communiciren. Durch solche lockere Stellen des Erdbodens verbreitet sich das Wasser nach allen Richtungen, drängt sich in die Zwischenräume des Erdreichs und erreicht mit dem nächstgelegenen See oder Flusse eine gleiche Höhe, daher man beim Nachgraben meistens auf Wasser stößt.

Gesetz: In allen mit einander communicirenden Röhren oder Gefäßen liegen die Oberflächen einer Flüssigkeit stets in einer wagerechten Ebene.

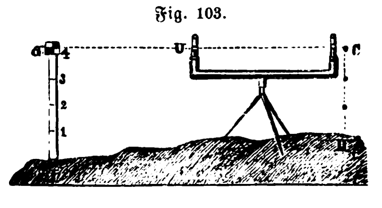
Versuch c. In der zu Versuch b verwandten Vorrichtung halten die zwei gleich hohen Wassersäulen einander das Gleichgewicht. Wenn sich die umfangreichere Wassersäule senkte, so müßte sie die dünnere Säule emportreiben, und umgekehrt. Es haben die communicirenden Röhren ungleiche Weite; in der weiteren Röhre ist vielleicht die zehnfache Wassermasse, und doch halten beide einander im Gleichgewicht und in gleicher Höhe. Um den Grund davon zu erforschen, nehme man ein rundes Holzstäbchen, umwickle es an seinem einen Ende mit Flachs oder Werg und bilde so einen Kolben, der in die weitere Röhre paßt. Man schiebt ihn langsam hinein, damit die zwischen ihm und dem Wasser befindliche Luft durch die Zwischenräume des Flachses nach oben entweichen kann, und gießt, sobald der Kolben das Wasser berührt, von oben etwas Wasser auf ihn, damit er genauer anschließe. Bewegt man den Kolben 1 Cm. abwärts, so wird dadurch die umfangreichere Wassersäule um 1 Cm. abwärts bewegt, und zugleich steigt die in der engeren Röhre befindliche Wassersäule 10 Cm. Die kleinere Wassersäule bewegt sich also mit zehnfacher Geschwindigkeit, gleichwie ein kleineres Gewicht an einem zehnmal so langen Hebelarm. Die andere Wassersäule hat ein zehnfaches Gewicht und einfache Geschwindigkeit. Eine mechanische Arbeit oder Leistung wird aber nach §. 16 und 17 ebenso gut durch eine zehnfache Geschwindigkeit, als durch Bewegung einer zehnfachen Masse zehnmal so groß, als wenn nur die einfache Masse mit einfacher Geschwindigkeit bewegt würde. Die gegenseitigen Leistungen beider communicirenden Wassersäulen sind folglich einander ganz gleich, und keine kann die andere bewegen. Stände die größere Wassersäule niedriger, so würde sie nicht die zehnfache Masse enthalten und von der kleineren Säule so hoch gehoben werden, bis dies der Fall wäre.

§. 82. Anwendungen des Gesetzes über communicirende Gefäße.

Auf dem Gesetze über den Stand einer Flüssigkeit in communicirenden Gefäßen beruht die Einrichtung des Nivellirinstruments, der Wasserleitungen, Springbrunnen und artesischen Brunnen.

a. Das Nivellirinstrument oder die Canalwage ist eine 1 M. lange, wagerechte Metallröhre, deren beide Enden lothrecht aufwärts gebogen sind und oben eingekittete Glasröhren tragen. In eine der Glasröhren wird mit Fernambuk gefärbtes Wasser gegossen, das auch in die andere, mit ihr communicirende Glasröhre gelangt, und dessen Oberflächen in beiden bei jeglicher Stellung des Instruments die wagerechte Richtung angeben. Die Vorrichtung ist auf ein Gestell mit drei Füßen befestigt und für genauere Bestimmungen noch mit einem Fernrohr versehen. Sie wird beim Bau von Chausseen und Eisenbahnen, beim An-

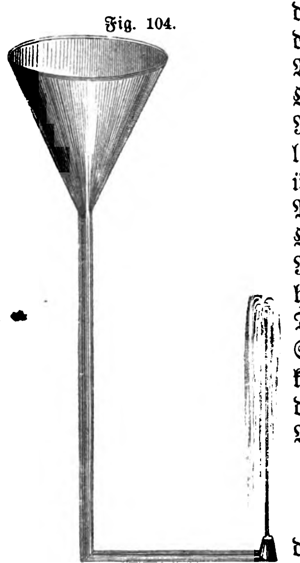
Fig. 103.



legen von Kanälen und Wasserleitungen gebraucht, um zu bestimmen, wie viel der Erdboden von der wagerechten Richtung abweicht, wie viel höher der eine Punkt einer Landstrecke liegt, als ein anderer. Man bedarf dazu noch der in Cm. getheilten, unten mit einer metallenen Spitze zum Einstecken versehenen Maßstäbe, der Nivellirlatten. Es mögen die Punkte I. und II. die beiden, hundert M. von einander entfernten Stellen sein, deren Höhenunterschied zu ermitteln ist. An dem Orte II. wird das Nivellirinstrument aufgestellt. Man sieht über die beiden Wasserspiegel desselben nach der in I. aufgestellten Nivellirlatte und giebt einem dort stehenden Gehülfen mit der Hand verabredete Zeichen, ob er ein schwarz und weiß angestrichenes Brettchen, das sich an der Latte verschieben läßt, höher oder tiefer stellen soll, bis die Mitte des Brettchens mit der wagerechten Linie auc, die das Instrument angiebt, in derselben Richtung liegt. Nach der Zeichnung trifft die wagerechte Linie die Nivellirlatte in einer Höhe von 4 halben M. Darauf mißt man in II. den Abstand des Erdbodens von der durch das Instrument angegebenen Linie uc; der Abstand betrage 3 halbe M. Der Punkt I. liegt demnach 4, der Punkt II. nur 3 halbe M. unter der vom Nivellirinstrument angegebenen wagerechten Linie, und daraus ergiebt sich, daß der Punkt I. $\frac{1}{2}$ M. tiefer liegt, als der zweite Punkt, oder daß der Boden auf der zwischen beiden gelegenen Strecke eine Steigung von $\frac{1}{2}$ M. hat.

b. Wasserleitungen. Aus dem Gesetz über communicirende Röhren folgt, daß sich das Wasser durch Röhren zu jeder Stelle hinleiten läßt, die nicht höher liegt, als die Quelle oder das Bassin, aus welchem das Wasser ausfließt. Von einer Anhöhe, auf welcher hinreichend Quellwasser vorhanden ist, beginnt man die Röhrenleitung, die gewöhnlich in die Erde gelegt wird, und kann sie in Thäler hinab und über Anhöhen hinweg führen, wenn der höchste Punkt derselben nur niedriger liegt, als die Quelle. Die tief, in einem Thale, liegenden Röhren arbeitet man stärker, weil sie eine höhere Wassersäule zu tragen und einen größeren Druck auszuhalten haben. Aus der durch eine Stadt gelegten Hauptleitungsröhre lassen sich kleinere Röhren in die verschiedenen Stockwerke der Häuser leiten und hier durch Hähne nach Belieben öffnen oder schließen.

Fig. 104.



c. Springbrunnen.

Versuch. Ein Springbrunnen besteht aus dem Wasserbehälter, der Röhrenleitung und der Springröhre. Zum Versuch kann man als Wasserbehälter einen Trichter nehmen; unten an denselben läßt man eine 60 Cm. lange, lothrecht abwärts führende Röhre löthen, unten

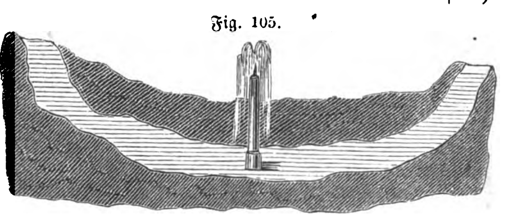
an diese eine 15 Cm. lange wagerechte Röhre; an das Ende derselben wird eine kurze lothrechte Röhre befestigt, die oben eine enge Oeffnung hat. Das Wasser gießt man in den Trichter. Die kurze Springröhre und die längere bilden communicirende Röhren; reichte die Springröhre ebenso weit empor, so würde sich das Wasser in ihr ebenso hoch stellen, als im Trichter. Da die Springröhre kurz ist, springt das Wasser frei empor; es erreicht aber die Höhe des Wasserbehälters nicht wegen der Reibung an der Ausflußöffnung, des Luftwiderstandes und des Gewichts der wieder herabfallenden Tropfen.

Die im großen Maßstabe angelegten Springbrunnen sind, wenn Anhöhen in der Nähe sind, ähnlich eingerichtet und heißen, weil sie durch den Druck des Wassers getrieben werden, hydrostatische Springbrunnen. Zu Sanssouci bei Potsdam wird das Wasser in einem auf dem Ruinenberge angelegten Bassin gesammelt und dorthin aus der Havel durch eine Dampfmaschine geschafft; aus dem Bassin wird es durch gußeiserne Röhren unter dem Erdboden bis zur Hauptfontaine geleitet und springt bis zu einer Höhe von 36 M. Auch auf der Wilhelmshöhe bei Cassel erhält die Fontaine das Wasser von einem nahe gelegenen Berge, und ihr Strahl erhebt sich 25 bis 30 M.

d. Artesische Brunnen. Die artesischen Brunnen haben ihren Namen von der Grafschaft Artois im nördlichen Frankreich, wo sie zuerst häufig gebohrt worden sind. Man durchbohrt an solchen nicht hoch gelegenen Stellen, wo Steinlager oder die Tiefe des Wasserstandes die Anlage eines gewöhnlichen Brunnens sehr kostspielig machen würden, das Erdreich mit einem Bergbohrer und treibt in die Bohrung 13 Cm. weite eiserne Röhren, von denen man beim Weiterbohren immer eine auf die andere setzt. Bei glücklichem Erfolge trifft man in einer Tiefe von 30—300 M. auf Wasser, und dasselbe springt nach dem Emporziehen des Bohrers springbrunnenähnlich aus der Röhre oder steigt wenigstens so hoch, daß es bequem geschöpft werden kann.

Ob es möglich sei, einen artesischen Brunnen anzulegen, hängt von der Beschaffenheit der über einander gelagerten Erdschichten ab. Es muß sich erstlich an höher gelegenen Stellen unmittelbar an der Erdoberfläche eine Kies- oder Sandschicht finden, in welche Wasser eindringt; sodann muß diese Schicht sich unter der Erdoberfläche noch bis unter die Stelle hin fortsetzen, wo gebohrt werden soll, und drittens müssen über und unter dieser Schicht sich Schichten von Thon, Lehm oder Gestein ausbreiten, die dem eingedrungenen Wasser nirgends gestatten, abzufließen. Durchbohrt man die obere wasserdichte Schicht, so erhält man einen nach dem Gesetz über communicirende Röhren emporsteigenden Wasserstrahl, dessen Wärme fast immer größer ist, als die Wärme der Luft.

Fig. 105.



Einer der berühmtesten artesischen Brunnen, der sich durch seinen großen Wasserreichthum auszeichnet, ist die 550 M. tiefe Bohrquelle zu Grenelle bei Paris, aus welcher das Wasser 15 M. emporspringt. Ein anderes Beispiel großer Springkraft ist ein zu Bruck bei Erlangen 140 M. tief gebohrter Brunnen, dessen Wasserstrahl 21 M. emporsteigt.

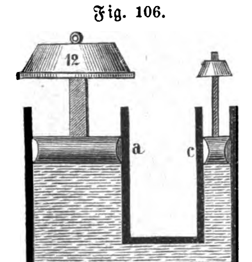
Der ursprüngliche Zweck der artesischen Brunnen war, Trinkwasser zu erlangen; der große Reichthum an Wasser und die Beschaffenheit desselben hat jedoch bei vielen auch andere Anwendungen möglich gemacht. An einigen Orten des nördlichen Frankreichs ist es gelungen, den austretenden Strahl unmittelbar zum Treiben eines Mühlrades zu benutzen; zu Heilbronn hat man sich durch fünf etwa 31 M. tiefe Bohrungen eine Wassermenge verschafft, die zum Betriebe eines Papierwerks, einer Bleichanstalt und einer Flachsspinnerei ausreichend ist. Andere gebohrte Brunnen liefern Salzsolen, aus denen Kochsalz gewonnen wird, wie der zu Neusalzwerk unweit Minden, oder haben einen Ruf als Heilquellen erlangt, wie der Kurbrunnen zu Kannstadt bei Stuttgart.

§. 83. Eine tropfbare Flüssigkeit als Zwischenmaschine.

In zwei communicirenden Röhren, deren eine zwölfmal so viel Wasser faßt, als die andere, besitzt die kleinere Wassersäule die zwölffache Geschwindigkeit und hält darum dem zwölffachen Gewicht des Wassers in der weiteren Röhre das Gleichgewicht. Brächte man, während nur der untere Theil der communicirenden Röhren mit Wasser gefüllt bleibt, in beide Röhren anschließende Kolben und legte auf sie ebenso schwere Gewichte, als die früher in den Röhren enthaltenen Wassersäulen wogen, so würde das einfache Gewicht auf dem kleinen Kolben dem zwölffachen Gewicht auf dem größeren Kolben das Gleichgewicht halten.

Um diesen Versuch wirklich anzustellen, bedarf man aus Metall gefertigter communicirender Röhren. Ehe man einen Kolben einsetzt, werden die Röhren ganz mit Wasser gefüllt, darauf der größere Kolben, dessen Fläche zwölfmal so groß sein mag, eingeschoben und abwärts bewegt, so daß aus der engeren Röhre Wasser überläuft; während sie noch bis oben gefüllt ist, wird auch ihr Kolben eingesetzt. Durch das Verfahren ist bewirkt, daß sich zwischen dem Wasser und dem Kolben keine Luft befindet. Stellt man nun auf die wagerechten Platten, die oben auf die senkrechten Stangen der Kolben befestigt sind, Gewichte, so halten sie einander das Gleichgewicht, wenn das Gewicht des größeren Kolbens 12 Klgr., das des kleineren 1 Klgr. beträgt; drückt man den kleineren Kolben mit einer etwas mehr als 1 Klg. großen Kraft 1 Dm. nieder, so leistet man eine Arbeit, etwas größer, als $\frac{1}{10}$ Klgr.-M. (§. 16.) Der kleinere Kolben kann nicht sinken, ohne den größeren emporzubewegen. Da das unter diesen tretende Wasser einen

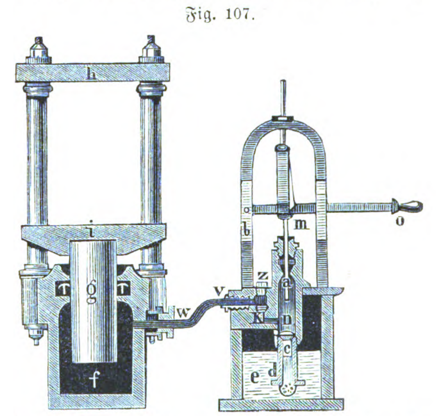
Fig. 106.



zwölfmal so weiten Raum zu füllen hat, kann es den großen Kolben nur den zwölften Theil so hoch, $^1/_{12}$ Dm. hoch, bewegen. Weil aber auf ihn 12 Klgr. gelegt sind, so hat er eine Arbeit von $^1/_{12} \times 12 \times {}^1/_{10} = {}^1/_{10}$ Klgr.-M. vollbracht, wie der kleinere Kolben. Die an die kleinere von zwei communicirenden Wassersäulen gewandte Leistung wird daher durch die tropfbare Flüssigkeit so umgewandelt, daß die umfangreichere Wassersäule mit Verlust am durchlaufenen Wege eine größere Last emporhebt. Ihr Kolben übt aufwärts einen Druck von 12 Klgr. und bewegt sich durch $^1/_{12}$ Dm. Ist nun die engere Röhre 1 Dm. hoch, und ist ihr Kolben 1 Dm. hinabbewegt, so hat die kleinere Wassersäule ihre Arbeit vollständig vollbracht und ist zu keiner weiteren Leistung fähig, weil bei Fortleitung der Bewegung sie selbst fortgeleitet ist. Um die Last 1 Dm. zu heben, müßte man die engere Röhre zwölfmal füllen, was durch eine kleine Pumpe geschehen könnte. Indem man so nach und nach 12 kleinere Wassersäulen mit der Kraft von einem Klgr. hinabbewegt, wird die auf dem größeren Kolben ruhende Last in 12 Absätzen, jedes Mal $^1/_{12}$ Dm., gehoben. Darauf beruht die hydraulische Presse.

Die hydraulische Presse wird nach ihrem Erfinder, dem Engländer Brahmah, der sie 1796 zuerst angefertigt hat, auch die Brahmah'sche Presse oder auch die Wasserpresse genannt. Sie besteht aus zwei mit Kolben versehenen, communicirenden Röhren, von denen die engere eine Druckpumpe bildet (§. 122). Nach der Zeichnung befindet sich die Druckpumpe auf der rechten Seite; die Stange ihres Kolbens a wird mittels eines Hebels auf und ab bewegt, der sich um den Punkt b dreht und rechts einen Handgriff hat. Unten an dem Boden der Druckpumpe ist eine aus starkem Leder oder aus Metall gearbeitete Klappe, ein Ventil c angebracht, das sich nach oben öffnen kann. Wird der Kolben der Druckpumpe emporgezogen, so dringt das Wasser aus dem Wasserbehälter e in die Röhre d, öffnet sich das Saugventil c und tritt unter den Kolben. Bewegt der Arbeiter den Kolben wieder abwärts, so drückt das Wasser von obenher auf das Ventil, schließt es und kann nicht wieder hindurch gelangen. Ein Ventil ist eine bewegliche Klappe, die einer Flüssigkeit die Bewegung nach der einen Seite gestattet, nach der entgegengesetzten aber verhindert. Es bietet sich dem Wasser, nachdem sich das Ventil geschlossen, ein Ausweg durch die Verbindungsröhre vw, und durch dieselbe gelangt es in einen weiten, sehr stark gearbeiteten gußeisernen Cylinder, den Preßcylinder f. Der Kolben g

Fig. 107.



des Cylinders, der Preßkolben, schließt genau an die Wände des Cylinders und trägt oben eine Metallplatte i, auf welche die zu pressenden Stoffe gelegt werden. Vor dem Gebrauch der Presse ist dieser Kolben aus seinem Cylinder genommen, und der Cylinder mit Wasser gefüllt worden. Wird nun noch durch die Druckpumpe Wasser in den Cylinder geschafft, so bewegt sich der Preßkolben nur wenig, aber mit sehr großem Drucke aufwärts. Um ihn weiter zu bewegen, zieht man den Hebel und Kolben der Druckpumpe von Neuem empor, damit sich die Druckpumpe wieder aus ihrem Wasserbehälter fülle. Dabei würde aber das Wasser aus dem weiten Cylinder und der Verbindungsröhre in die Druckpumpe zurückkehren; um dies zu verhüten, ist noch ein Ventil k, das Druckventil, angebracht, welches dem Wasser die Bewegung nach dem Cylinder hin gestattet, aber seine Rückkehr nach der Druckpumpe unmöglich macht. Durch fortgesetztes Bewegen des Kolbens in der Druckpumpe wird der Preßkolben allmählich aufwärts bewegt und drängt die zu pressenden Stoffe gegen die feste Platte des eisernen Gestelles, die Gegenplatte h. Soll der Druck aufhören, so öffnet man einen Hahn der Verbindungsröhre und läßt Wasser ausfließen.

Der Arbeiter, welcher den Hebel der Druckpumpe bewegt, drücke ihn mit der Kraft von 30 Pfund nieder, und der Griff des Hebels sei zehnmal so weit vom Unterstützungspunkte b entfernt, als die Kolbenstange der Druckpumpe; dann wird der kleinere Kolben mit einer Kraft von $10 \times 30 = 300$ Pfund niedergedrückt. Hat der Preßkolben einen 20 Mal so großen Durchmesser oder, was dasselbe ist, eine 400 Mal so große Fläche, als der kleinere Kolben, so wird nach oben gegen den Preßkolben der außerordentliche Druck von $400 \times 300 = 120000$ Pfund ausgeübt. Etwa ein Viertel dieser Wirkung geht durch die Reibung der Kolben verloren; der zu pressende Körper wird folglich mit einer Kraft von 90000 Pfund zusammengedrückt werden. Die hydraulische Presse leistet mehr, als die Schraubenpresse oder Keilpresse, die an einem größeren Arbeitsverluste leiden. Wenn man aber einen so bedeutenden Druck hervorbringen muß und sich mit einer geringeren Wirkung nicht begnügen mag, so ist wohl zu bedenken, daß ein ebenso großer Verlust am Wege eintritt, und die Gegenstände nur langsam zusammengepreßt werden können. Es sei der Preßkolben mit einem Drucke von 90000 Pfund $^1/_5$ M. aufwärts zu bewegen; wegen des Arbeitsverlustes hat der Arbeiter eine Leistung zu vollbringen, als sollte der Kolben mit einem Druck von 120000 Pfund oder 60000 Klgr. $^1/_5$ M. hoch gehoben werden; seine Arbeit beträgt $60000 \times {}^1/_5 = 12000$ Klgr.-M. Ein sehr rüstiger Arbeiter kann mit dem Druck von 15 Klgr. den Handgriff des Hebels in jeder Sekunde um 80 Cm. niederdrücken; der Kolben der Druckpumpe liegt dem Unterstützungspunkte des Hebels zehnmal so nahe und macht jedes Mal einen Weg von 8 Cm. Der Preßkolben ist 400 Mal so groß und wird daher bei jedem Niedergange des kleineren Kolbens nur $^8/_{400} = {}^2/_{100}$ Cm. gehoben; es sind 1000 Niedergänge desselben erforderlich, um den Preßkolben $1000 \times {}^2/_{100}$ Cm. $= 20$ Cm. hoch zu bewegen. Dabei hat die Hand des

Arbeiters mit der Kraft von 15 Klgr. einen Weg von 80 × 1000 = 80000 Cm. oder 800 M. durchlaufen, also eine Arbeit von 800 × 15 = 12000 Klgr.-M. vollbracht, wobei die zum Emporziehen des kleineren Kolbens nöthige Arbeit gar nicht einmal gerechnet ist. Er hat 1000 Sekunden, über eine Viertelstunde, gearbeitet. — Man wendet die hydraulische Presse in den Tuchfabriken an zum Pressen und Glätten des Tuchs, in den Buchdruckereien zum Glätten der bedruckten Papierbogen, in Stearinfabriken zum Auspressen des Stearins aus den Fetten, ferner zum Zusammenpressen von Baumwolle, Flachs und Heu, damit diese Waaren bei der Versendung möglichst wenig Raum einnehmen.

§. 84. Adhäsionserscheinungen.

Es giebt Erscheinungen, die von den vorher dargestellten Gesetzen abweichen und durch eine Kraft hervorgebracht werden, die sich bei der Berührung zweier Körper thätig zeigt.

A. Adhäsion fester Körper an einander.

Versuche a. Mit einem Messer schabe man Reißblei von einem Bleistift ab und lasse es auf Papier fallen. Ferner schabe man Kreide und lasse sie auf eine Schiefertafel fallen. Es bleibt Reißblei am Papier, und Kreide an der Tafel hängen, auch wenn man das Papier und die Tafel lothrecht hält.

Versuche b. Man schneide ein Stück elastischen Gummis mit der Scheere in zwei kleinere Stücke und drücke dieselben mit den frischen Schnittflächen, ohne diese selbst mit den Fingern zu berühren, an einander. Die Gummistücke bleiben an einander hängen. Versucht man das eine von dem andern loszureißen, so zeigt sich, daß sie sich gegenseitig mit ziemlich bedeutender Kraft festhalten. Durch das Aneinanderdrücken ist bewirkt worden, daß die beiden Stücke sich in vielen Punkten berühren. — Dagegen drücke man die Hälften eines durchgeschnittenen Gummistücks nur wenig aneinander, so daß sie sich nur in wenigen Punkten berühren; dann werden sie mit geringerer Kraft an einander hängen.

So bleibt auch der Staub an den Seitenwänden und an der Decke eines Zimmers haften; diese kleinen Körper werden von einer Anziehungskraft festgehalten, die größer ist, als ihr Gewicht, sonst müßten sie nach dem Gesetz der Schwere hinabfallen. Polirte Spiegelglasscheiben hängen, wenn sie in den Spiegelfabriken auf einander gelegt werden, oftmals mit solcher Kraft an einander, daß sie nicht getrennt werden können, ohne zu zerbrechen. Metallplatten haften, wenn sie wegen ihrer Unebenheiten sich nur in wenigen Punkten berühren, mit kaum merklicher Kraft, sind sie aber eben geschliffen, mit beträchtlicher Kraft an einander. Beim Abfärben mancher Stoffe hängen sich Theilchen derselben an die sie berührenden Körper; Ruß, fein zertheilte Kohle, setzt sich an die inneren Wände des Schornsteins und an die Kochgeräthe.

Körper, deren Oberflächen sich berühren, werden durch eine anziehende Kraft an einander festgehalten. Diese Anziehungskraft, welche **Adhäsion** oder Flächenanziehung genannt wird, wirkt desto stärker, in je mehr Punkten sich beide Körper berühren.

Wichtige **Anwendungen** von der gegenseitigen Adhäsion fester Körper sind das Plattiren, das Zusammenwalzen einer dünnen Silberplatte mit einer darunter gelegten, zehnmal so starken Kupferplatte, wodurch die Metalle in vielen Punkten und sicher vereinigt werden; das Aneinanderschweißen zweier Eisenstücke, welche, um eine Berührung vieler Punkte zu bewirken, geglüht und durch Hammerschläge an einander getrieben werden; das Zeichnen mit Bleistift und das Schreiben mit Kreide, wobei Theile der festen Schreib- und Zeichenmaterialien sich an das Papier oder Holz hängen.

B. Adhäsion fester und flüssiger Körper an einander.

Versuch a. Auf ein kleines, glattes Stück Schreibpapier, das man mit Oel oder mit dem an einer Flamme geschmolzenen Ende eines Talg- oder Stearinlichtes getränkt hat, bringe man einen Tropfen Wasser. Er wird seine Tropfengestalt behalten. Die Schwerkraft allein ist folglich nicht im Stande, das Zerfließen des Wassertropfens zu bewirken und die ihn bildenden Wassertheile zu trennen. Wenn dennoch ein Tropfen Wasser auf gewöhnlichem, nicht fettigem Schreibpapier zerfließt, so muß dabei noch eine andere Kraft thätig sein, die das Wasser zu dem Papier hinzieht. Diese Kraft ist die Adhäsion zwischen dem flüssigen und dem festen Körper. Das Papier zieht das Wasser an, wird naß und von demselben benetzt. Jedes Naßwerden ist eine Adhäsionserscheinung. Das fettige Papier wird von dem Wasser nicht benetzt, weil seine Theile gegen die des Wassers keine merkliche Anziehung oder Adhäsion zeigen.

Da die Kraft der Adhäsion erst bei der Berührung wirkt, so kann sie nur sehr unbedeutende Bewegungen hervorbringen. Ueber ein Trinkglas werde ein Stäbchen gelegt, das auf der einen Seite weiter hervorragt. Sodann nehme man einen feinen Baumwollenfaden und lasse ihn von dem Stäbchen lothrecht herabhängen, so daß er die Tischplatte fast berührt. Schiebt man das mit Fett getränkte Papierstückchen mit dem darauf ruhenden Tropfen vorsichtig von der Seite her näher, so zeigt sich bei nächster Nähe des Tropfens eine Anziehung; der Faden bewegt sich, nimmt einen Sprung und setzt sich plötzlich mit dem Wasser in Berührung.

Versuch b. Aus dem dünnen Holz einer Cigarrenkiste schneide man zwei Brettchen von der Länge eines Fingers und von zwei Fingerbreiten, benetze jedes auf einer Seite mit Wasser, so daß diese vollständig naß wird, und lege beide mit den nassen Flächen auf einander. Hebt man das obere Brettchen empor, so wird das unten liegende daran haften bleiben und nicht hinabfallen. Ohne die zwischen sie gebrachte Flüssigkeit würden die Brettchen wegen ihrer Unebenheiten sich nur in wenigen

Punkten berühren und sich nicht an einander hängen; die Flüssigkeit berührt die festen Körper in vielen Punkten und haftet an dem oberen Brettchen, das untere Brettchen haftet an der Flüssigkeit, und die Theile der Flüssigkeit selbst hängen zusammen und halten sich gegenseitig fest; sonst würden sie durch das Gewicht des unteren Brettchens aus einander gerissen werden, und das Brett hinabfallen. Der Versuch läßt sich ebenso mit zwei Glasscheiben, auch mit zwei verschieden großen Münzen anstellen, wenn deren Gepräge abgegriffen, und sie sorgfältig gereinigt sind.

Fig. 108.

Versuch c. Wenn auch der Stand einer Flüssigkeit während der Ruhe im Ganzen wagerecht ist, so findet doch wegen der Adhäsion eine Abweichung Statt. Die inneren Wände des Glases üben eine Anziehung auf das Wasser aus und ziehen es ringsherum etwas empor. Daher steht das Wasser am Rande etwas höher, als in der Mitte. Auffallender beobachtet man diese Wirkung der Adhäsion, wenn man ein benetztes Stäbchen in Wasser taucht; das Wasser wird rings um das Stäbchen emporgezogen und steht in seiner Nähe etwas höher.

Versuch d. Neigt man beim Ausgießen des Wassers das Gefäß nur wenig, so wird die Flüssigkeit von der Außenwand angezogen und läuft, statt lothrecht zu fallen, längs derselben herunter. Um dies zu verhüten, neigt man entweder das Gefäß stärker und entfernt dadurch die ausfließende Flüssigkeit sogleich weiter von der Außenwand, oder man versieht das Gefäß mit einer Ausgußmündung, wie sie sich an vielen Töpfen findet und dem Wasser während des Ausgießens gleichfalls eine von der Außenwand mehr abweichende Richtung ertheilt. Für das Anstellen von Versuchen benutzt man aber beim Ausgießen häufig die Adhäsion selbst; man halte ein Stäbchen lothrecht an den Rand des Glases; die Flüssigkeit findet durch die anziehende Kraft des Stabes ihren Weg vorgeschrieben und wird längs desselben hinabfließen.

Fig. 109.

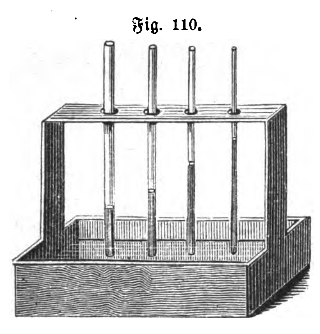
Anwendungen der gegenseitigen Adhäsion flüssiger und fester Körper kommen sehr häufig vor; fast immer wählt man solche Flüssigkeiten, die nachher fest werden. Im flüssigen Zustande berühren sie die festen Körper in vielen Punkten, und diese innige Berührung bleibt, wenn sie selbst fest geworden sind. Der flüssige Zustand wird daher als Mittel gebraucht, um eine innige Berührung und in Folge davon eine starke Adhäsion der festgewordenen Stoffe hervorzubringen. So bleibt beim Schreiben mit Tinte nach dem Verdunsten der Flüssigkeit das Tintenpulver auf dem Papier haften; beim Malen und beim Anstreichen verstärkt gleichfalls der flüssige Zustand der Farbestoffe ihre Adhäsion, welche durch das Eintreten des festen Zustandes eine bleibende wird; beim Verzinnen des Eisenblechs, wodurch es in das von den Klempnern bearbeitete Weißblech umgewandelt wird, taucht man das sorgfältig gereinigte Blech zuerst in Fett, und dann in geschmolzenes Zinn, das sich im flüssigen Zustande anhängt und im festen haften bleibt. Zwischen zwei feste Körper

gebracht, bewirkt eine allmählich in den festen Zustand übergehende Flüssigkeit das Zusammenhaften beider durch ihre Adhäsion gegen beide und durch die Kraft des Zusammenhangs, mit welcher die Theilchen der Flüssigkeit selbst einander festhalten, wie im Versuch b. Wie guter Leim zwei Holzstücke dergestalt vereint hält, daß eher das Holz reißt, als der Leim von ihm losläßt, so werden auch durch den aus Sand und Kalk gemengten Mörtel Steine fest vereint gehalten. Die Adhäsion und der innere Zusammenhang des Siegellacks vereinigt zwei Papierstücke, der Stärkekleister, mit kaltem Wasser eingerührte und dann unter stetem Umrühren mit heißem Wasser übergossene Stärke, die zu klebenden Gegenstände. Um Metalle an einander zu löthen, werden sie mit Salmiakwasser benetzt, Stückchen von dem Schnelloth der Klempner oder von Zinn darauf gebracht und über einer Spiritusflamme bis zum Schmelzen des Lothes erhitzt. Holz und Steine, die vergoldet werden sollen, überstreicht man mit Eiweiß und Baumöl und legt dann das dünngeschlagene Blattgold auf. Ist die Adhäsion für uns lästig und unzweckmäßig, so wird sie meist durch Reiben überwunden, wie beim Reinigen der Füße von feuchter Erde und Schnee, beim Abwaschen von Gefäßen und beim Scheuern der Zimmer.

§. 85. Capillarität und Diosmose.

Versuch a. Man verschafft sich eine sehr enge Glasröhre, deren Weite im Innern kaum die Stärke eines Haares übersteigt, und welche davon den Namen Haarröhrchen oder Capillarröhrchen trägt. Taucht man sie in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre empor und stellt sich weit höher, als sie in dem Trinkglase steht. Die inneren Wände des Röhrchens üben eine anziehende Adhäsion gegen das Wasser aus; da die Röhre so eng ist, reichen die Anziehungskräfte der gegenüberliegenden Wände einander gleichsam die Hand, und mit vereinter Kraft ziehen sie das Wasser empor. Es steigt desto höher, je enger die Röhre ist. Man hat dieser Wirkungsweise der Adhäsion, wie sie sich in engen Röhren thätig zeigt, den Namen Capillarität oder Haarröhrchenanziehung gegeben. Schon an einer in Wasser getauchten Spritzröhre läßt sich diese Erscheinung beobachten.

Fig. 110.



Versuch b. Ein benetztes Stäbchen halte man in ein Trinkglas mit Wasser, so daß es der einen Wand des Glases sehr nahe ist. In dem engen, haarröhrenähnlichen Zwischenraum wird das Wasser ebenfalls ziemlich deutlich emporsteigen, wie man es gelegentlich am Kaffee beobachten kann, der zwischen der innern Wand der Tasse und dem hineingestellten Löffel sich über die Flüssigkeitsoberfläche zu erheben pflegt.

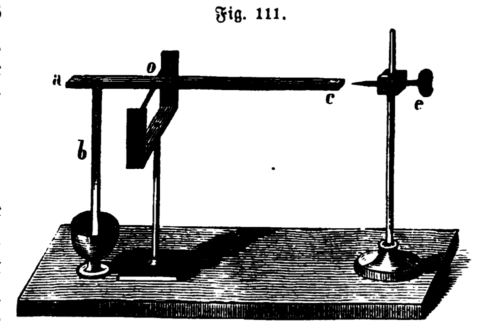
Versuch c. In einen wenige Tropfen Wasser oder Kaffee enthaltenden Löffel lege man ein Stück Zucker, das mit seiner unteren Fläche die Flüssigkeit berühre; dieselbe wird, was an der veränderten Färbung wahrzunehmen ist, bald in den Zucker emporsteigen und ihn ganz durchziehen. Zwischen den Theilchen des Zuckers finden sich zahlreiche Zwischenräume oder Poren; diese bilden zusammenhängende Canäle, deren Innenwände flüssige Körper anziehen. Aehnlich läßt der Versuch sich auch mit einem baumwollenen Faden anstellen, dessen unteres Ende in eine Flüssigkeit taucht.

Vermöge der Capillarität saugt ein Schwamm Wasser ein; Löschpapier zieht die Tinte an und nimmt sie auf; Oel oder Spiritus steigt in den Lampendochten und die Tinte in der engen Spalte der Feder empor. Tücher nehmen beim Abtrocknen nasser Gegenstände die Feuchtigkeit auf; Mauern aus zu lockeren Steinen bleiben auf nassem Grunde stets feucht; in die Unterschale eines Blumentopfes gießen wir Wasser und rechnen darauf, daß es wegen der Capillarität der lockern Erde zu den Wurzeln der Blume emporsteige.

Durch Capillarität bewirkte **Ausdehnung** der Körper. In manchen Körpern zeigt sich die Kraft der Capillarität so groß, daß sie, indem sie immer mehr Wasser heranzieht, die Theile des festen Körpers nöthigt, sich von einander zu entfernen, wodurch derselbe vergrößert und ausgedehnt wird. Auffallend zeigt dies folgender Versuch.

Versuch d. Ein fingerbreiter Streifen Löschpapier wird oben durchbohrt, und das eine Ende eines Drahtes oder einer Stricknadel hindurchgesteckt. Um das Papier zu befestigen, werden durchbohrte Korkstückchen über den Draht geschoben und auf beiden Seiten gegen das Papier gedrückt. Das freie Ende des Papiers befestige man mit Wachs unten an die innere Wand eines leeren Trinkglases dergestalt, daß der Draht auf dem Rande des Glases ruht und nach außen schräg emporsteigt. Das äußere Ende des Drahtes bringe man vor ein aufrecht stehendes Brettchen oder Buch, an dem man sich, vielleicht durch eine Stecknadel, die Höhe bemerkt, die das Drahtende erreicht. In solcher Lage bildet der Draht einen Hebel mit zwei ungleichen Armen (§. 13 und §. 17), der Rand des Glases ist sein Drehungspunkt; dehnt sich das Papier nach oben aus, so macht der längere Arm außerhalb des Glases einen längeren Weg abwärts. Dies wird eintreten, sobald man ein wenig Wasser in das Glas gießt; die Capillarität läßt es im Papier emporsteigen, und der Hebel zeigt dessen Ausdehnung sehr deutlich an. Man kann auch das eine Ende des Papiers b an den kürzeren Arm oa eines leichten hölzer-

Fig. 111.

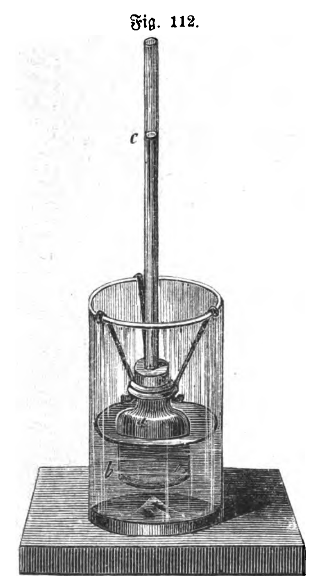


nen Hebels aoc befestigen; die Stelle des Endpunktes c wird durch den Draht e bezeichnet.

Daher feuchtet man beim Aufspannen von Zeichenpapier dasselbe an und dehnt es dadurch aus, ehe man seinen Rand ringsum festklebt; trocken geworden, hat es das Bestreben, sich zusammenzuziehen, und ist dadurch glatt und straff gespannt. Thüren und Fenster quellen bei Regenwetter; Steine werden durch Keile gesprengt, die man in die Spalte treibt und dann durch Begießen mit Wasser ausdehnt. Gespannte Stricke werden dicker und kürzer, wenn man sie naß macht. Durch dies Mittel gelang es, den 10000 Centner schweren Obelisken vor der Peterskirche in Rom aufzurichten; die Stricke an den Flaschenzügen waren zu lang, man konnte den Obelisken nicht weiter bewegen, und der Papst Sixtus V. hatte den Zuschauern das strengste Stillschweigen auferlegt. Gleichwohl zeigte ein junger Seemann, mit Namen Bresca, den Muth, auszurufen: Wasser auf die Stricke! Durch das Wasser wurden die Seile hinreichend verkürzt, und zur Belohnung erhielt die Familie Bresca das ausschließliche Recht, für den Palmsonntag die Palmen nach Rom zu liefern.

Die Diosmose. Versuch e. Wenn man über die untere Oeffnung eines Lampencylinders eine Thierblase bindet, den Cylinder in ein weiteres Glas hängt und nun in den Cylinder eine Auflösung von Kupfervitriol, in das weitere Gefäß b Wasser gießt, so daß beide Flüssigkeiten gleich hoch stehen, so steigt allmählich die Flüssigkeit in dem Cylinder, und die in dem äußeren Gefäße sinkt. Zugleich färbt sich die Kupfervitriollösung heller, und das Wasser im äußeren Gefäße nimmt eine blaue Färbung an. (Statt des Lampencylinders kann man als inneres Gefäß auch ein Medicinglas a anwenden, aus welchem der Boden gesprengt ist, oben einen durchbohrten Kork einsetzen und durch diesen eine Glasröhre c schieben. Auch kann man statt des Lampencylinders ein Gefäß von ungebranntem Thon gebrauchen.) Man erklärt die beschriebene Erscheinung auf folgende Weise. Zwischen den beiden Flüssigkeiten findet eine Anziehung Statt; es begiebt sich deshalb durch die sehr feinen Oeffnungen oder Poren der Blase Wasser zur Kupfervitriollösung, und Kupfervitriollösung zum Wasser. Die poröse Scheidewand gestattet aber dem Wasser leichter den Durchgang; deshalb tritt mehr Wasser in das innere Gefäß, und die Flüssigkeit im äußeren Gefäße sinkt. Aehnliche Erscheinungen zeigen Wasser und die Lösungen anderer Salze, Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckerlösung. Das Uebergehen zweier, durch eine

Fig. 112.



poröse Scheidewand getrennten Flüssigkeiten in einander, bei welchem in dem einen Behälter die Flüssigkeitsmenge zunimmt, heißt **die Diosmose,** auch wohl die Diffusion der Flüssigkeiten. Wegen der Diosmose steigt, da der Pflanzensaft dichter ist, als gewöhnliches Wasser, das die Wurzeln der Pflanzen umgebende Wasser in die Zellen der Wurzelfasern und aus ihnen in alle Zellen empor, deren Säfte dichter geworden sind.

Der Druck eingetauchter Körper.

§. 86. Gewichtsverlust eingetauchter Körper.

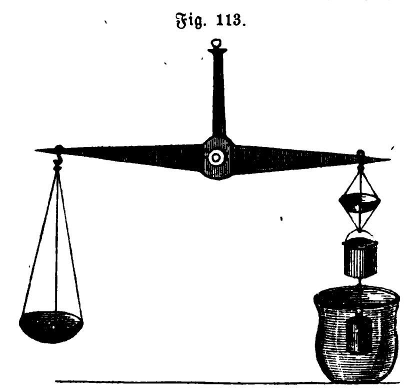
Versuch. An den einen Arm der für §. 12 a gefertigten Wage hänge man mittels eines Pferdehaares oder eines seidenen Fadens ein Stückchen Draht oder eine Stecknadel; an den andern Arm befestige man einen Kork und schiebe ihn an eine Stelle, wo er der Nadel das Gleichgewicht hält. Wenn man dann ein mit Wasser gefülltes Glas so unter die Nadel hält, daß sie ganz eintaucht, so bewegt sie sich aufwärts, und der andere Arm der Wage erhält das Uebergewicht. Das Wasser sucht die Nadel zu heben, sie wird zum Theil von ihm getragen und drückt deshalb nicht mit ihrem ganzen Gewichte abwärts.

Daher vermögen die Arbeiter bei Wasserbauten große Steine, so lange dieselben sich unter Wasser befinden, von solchem Gewichte zu bewegen, daß sie außerhalb des Wassers, das sie tragen hilft, von Menschenhand nicht würden gehoben werden. Es giebt Brunnen, an denen ein Wassereimer leer in das Wasser hinabgetaucht und voll wieder emporgezogen werden muß; beim Ziehbrunnen hängt er an einer Stange, bei dem in Figur 36 dargestellten Schöpfbrunnen an einem Seil; die Wasser Schöpfenden machen täglich folgende Erfahrung: So lange beim Emporziehen sich der volle Eimer noch im Wasser befindet, haben sie sehr wenig Kraft anzuwenden, weil das Wasser im Brunnen den Eimer fast ganz trägt; sobald aber der Eimer über die Wasserfläche emporgehoben wird, überrascht er durch sein Gewicht und erfordert einen weit größeren Kraftaufwand. So gehen auch die Fischer mit einem Netz mit Fischen so lange sorglos um, als es sich noch im Wasser befindet, und die Fische von demselben zum Theil getragen werden; dagegen verfahren sie beim Emporziehen des Netzes aus der Flüssigkeit sehr vorsichtig, weil nun das Netz allein das ganze Gewicht des Fanges zu tragen hat. Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper zeigt daher ein geringeres Gewicht, als in der Luft, oder er verliert an Gewicht.

§. 87. Größe des Gewichtsverlustes.

Versuch a. Man lasse sich vom Klempner zwei Cylinder aus Blech anfertigen; der eine sei oben und unten verschlossen und mit Sand gefüllt und erhalte oben ein Häkchen zum Anhängen; der andere Cylinder ist unten verschlossen und mit einem Haken versehen, oben ist er geöffnet und hat, wie ein kleiner Eimer, einen Bügel zum Aufhängen. Der erste, verschlossene oder massive Cylinder ist so groß zu nehmen, daß er in ein mit Wasser gefülltes Trinkglas vollkommen untertaucht. Der zweite, hohle Cylinder soll sich, wie ein genau anschließendes Futteral, über den massiven Cylinder schieben lassen und gerade von ihm ausgefüllt werden; beide haben daher fast gleiche Höhe, und die Wände eines jeden dürfen an den Stellen, wo sie zusammengelöthet werden, nicht über einander, sondern nur neben einander gelegt und durch die Löthung verbunden werden. Noch bedarf man einer kleineren Wage von solcher Beschaffenheit, wie sie von Kaufleuten gebraucht wird. Nachdem man die Schnüre der einen Wageschale durch Einbinden kürzer gemacht hat, hängt man an dieselbe durch Fäden zuerst den hohlen Cylinder und unten an diesen mittels eines dünnen Fadens den massiven Cylinder; in die andere Wageschale aber legt man Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Unter den massiven Cylinder wird ein Trinkglas gestellt, und man läßt ihn ganz eintauchen. Das Wasser hebt ihn empor, und die Wageschale mit den Gewichten sinkt. Um das Gleichgewicht wieder herzustellen, benutzt man den hohlen Cylinder und gießt Wasser in denselben; erst dann stellt sich der Wagebalken wieder horizontal, wenn der hohle Cylinder ganz mit Wasser gefüllt ist. Das Wasser in dem Trinkglase trägt einen Theil von dem Gewicht des massiven Cylinders, und die Wage zeigt dessen Gewichtsverlust an. Der hohle Cylinder ist so groß, daß er genau den massiven umschließt, und enthält jetzt eine an Umfang dem eingetauchten Cylinder gleiche Wassermasse. Durch das Eingießen dieser Wassermasse ist der Gewichtsverlust ausgeglichen; das Gewicht derselben ist mithin so groß, wie der Gewichtsverlust des eingetauchten Cylinders. Daraus folgt das für alle Flüssigkeiten geltende

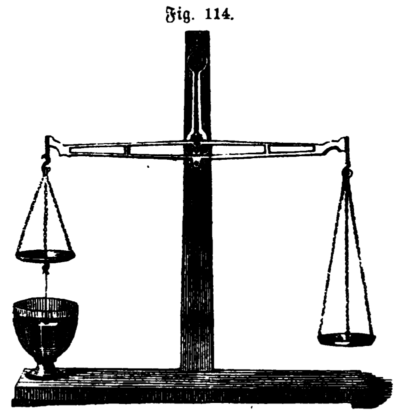
Fig. 113.



Archimedische Gesetz: Von dem Gewicht eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers trägt dieselbe so viel, als eine gleich große Menge dieser Flüssigkeit wiegt. Der Gewichtsverlust ist stets gleich dem Gewicht einer gleich großen Flüssigkeitsmenge.

Versuch b. Man bildet aus Stein oder Siegellack einen Würfel, der ein Kubikcentimeter darstellt. Diesen Würfel hängt man an die kürzere Schale der Wage und legt auf die andere Schale so viel Gewichte, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Darauf läßt man den hängenden Würfel in Wasser eintauchen. Damit er ganz eintauche, und das Gleichgewicht wieder eintrete, muß man auf die kürzere Schale 1 Gr. legen. Der Würfel, der den Raum von ein Kubik-Cm. einnimmt, verliert durch das Eintauchen in Wasser 1 Gr. So viel wiegt aber ein Kubik-Cm. Wasser.

Fig. 114.



Versuch c. Auch mit Hülfe eines eingetheilten Glascylinders, eines Mensurircylinders, läßt sich das Archimedische Gesetz beweisen. Man gießt in einen Glascylinder, dessen Durchmesser zwei Cm. beträgt, 1 Gr. Wasser und bezeichnet auswendig am Glase mit Hülfe einer dreieckigen Feile die Höhe des Wassers; darauf gießt man 1 Gr. Wasser zu und bezeichnet auf der Außenseite wieder den Stand des Wassers. So theilt man den ganzen Cylinder ein. Im Handel kosten diese eingetheilten Mensurircylinder etwa 1 Mark. Nun formt man aus Metall oder Siegellack einen massiven Cylinder, taucht ihn in den Mensurircylinder, während das Wasser in demselben genau bis zu einem Theilstrich reicht, und sieht, wie viel Wasser der eingetauchte Körper verdrängt. Man giebt ihm die Größe, daß er einige Gr. verdrängt. Es stehe der Wasserspiegel 4 Theilstriche höher, als vor dem Eintauchen des festen Körpers. Man hängt nun den festen Körper an die kürzere Schale der Wage in der Luft und stellt durch Gewichte, die man in die längere Schale legt, das Gleichgewicht her. Darauf läßt man den Körper, der 4 Gr. Wasser verdrängt, in den Mensurircylinder oder in ein Glas Wasser tauchen. Das Gleichgewicht tritt ein, wenn man 4 Gr. in die kürzere Schale gelegt hat.

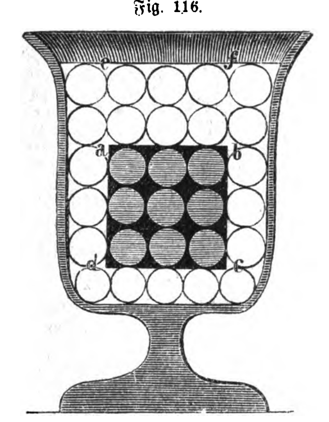
Fig. 115.

§. 88. Schweben, Sinken oder Steigen des eingetauchten Körpers.

Um sich von der Richtigkeit des von Archimedes aufgefundenen Gesetzes zu überzeugen, ist zu bedenken, daß an derselben Stelle, die später der eingetauchte Körper einnimmt, sich zuvor Wasser befand. Diese Wassermenge wurde von der übrigen Flüssigkeit gerade getragen und schwebend erhalten. Wäre das Gewicht dieser Wassermenge größer, als der nach oben gerichtete Druck der sie umgebenden Flüssigkeit, so würde sie sinken. Wäre dagegen der Druck nach oben größer, als das Gewicht der abgegrenzten Wassermenge, so müßte sie steigen. Der gegen sie nach oben

gerichtete Druck ist daher genau so groß, wie ihr Gewicht. Auf die Wassermenge abcd drückt von oben die Wassermenge efba. Da aber die wagerechte Schicht cd von oben einen Druck erleidet, der dem Gewicht der Wassersäule cdef gleich ist, so wird die Fläche cd eben so stark nach oben gedrückt. Wird die Wassermenge abcd durch eine Wassersäule efba abwärts und durch eine Wassersäule efcd aufwärts gedrückt, so ist der Erfolg derselbe, als würde abcd durch eine Wassersäule abcd aufwärts gedrückt. Tritt an die Stelle der Wassermenge abcd ein fester Körper, so wird er aufwärts gedrückt durch das Gewicht der Wassersäule abcd oder durch das Gewicht der von dem Körper verdrängten Wassermenge.

Fig. 116.



Hinsichtlich des Gewichts dieses Körpers sind **drei Fälle** möglich. 1. Ein Körper von **gleichem** Gewicht mit einer ebenso großen Flüssigkeitsmenge schwebt in der Flüssigkeit, ohne zu sinken oder zu steigen, gerade wie ein Theil der Flüssigkeit selbst; wird er an eine Wage gehängt, so hat er für diese sein ganzes Gewicht verloren. 2. Ein Körper von **größerem** Gewicht, als dem einer gleich großen Flüssigkeitsmenge, sinkt zu Boden. Er erlangt das Uebergewicht über den nach oben gerichteten Druck der Flüssigkeit. 3. Ein Körper von **geringerem** Gewicht, als dem einer gleich großen Flüssigkeitsmenge, steigt empor und schwimmt auf der Flüssigkeit. Der nach oben gerichtete Druck der Flüssigkeit, der mehr zu tragen vermag, gewinnt den Sieg über das Gewicht des eingetauchten Körpers und duldet nur, daß er zum Theil eintaucht, während der andere Theil aus dem Wasser hervorragt.

Das unter dem Namen der **cartesianischen Taucher** bekannte Spielzeug, dessen Gewicht veränderlich ist, zeigt nach einander die Erscheinungen des Schwebens, Sinkens und Steigens. Es sind hohle Figuren von Glas in der Gestalt eines Ballons oder eines Teufels, fast ebenso schwer, wie eine gleich große Wassermenge und an einer Stelle mit einer Oeffnung versehen. Die Höhlung der Figur ist voll Luft; um einen Theil derselben zu entfernen und den Taucher mit etwas Wasser zu füllen, erwärmt man ihn gelind über einer Spirituslampe und taucht ihn unter Wasser, wobei ein wenig Wasser in die Höhlung eintritt. Darauf wird der Taucher in ein mit Wasser gefülltes Glas gesetzt; er muß fast gänzlich eintauchen; über das Glas wird eine Blase oder Gummi gebunden. Drückt man mit einem Finger auf das Gummi, so dringt mehr Wasser in den Taucher und vermehrt sein Gewicht, so daß es dem des Wassers gleich wird; er bewegt sich bis in die Mitte des Glases und kann durch geeigneten Druck schwebend erhalten werden. Wird der Druck des Fingers

stärker, so dringt noch mehr Wasser in die Figur, ihr Gewicht wird größer, und sie sinkt zu Boden. Hört beim Loslassen des Fingers der Druck auf, so vertreibt die im Innern des Tauchers zusammengedrückte Luft das eingetretene Wasser, er wird wieder leichter und steigt empor. Befindet sich die kleine Oeffnung der Figur nicht unten, sondern am Ende einer an der Seite angebrachten Röhre, so dreht sich die Figur, wenn der Druck des Fingers geringer wird, gleich dem Segner'schen Wasserrade, weil das hinausfließende Wasser nicht auf die Oeffnung drückt, wohl aber auf die derselben gegenüberliegende Stelle der Figur.

In einer Taucherglocke taucht man, weil die Luft in derselben zu sehr zusammengedrückt wird (§. 103), nicht gern über 12 M. hinab. Um sich in größere Tiefen hinabzulassen, wendet man **die Bauer'schen Taucherapparate** an. Dieselben sind luft- und wasserdichte Behälter und enthalten drei weite, mit Kolben versehene Röhren, in welche von außen her Wasser gelangen kann. So lange diese Röhren leer sind, schwimmt der Behälter. Soll er sinken, so werden die Kolben emporgezogen; dadurch wird Wasser in die Röhren geschafft; das Gewicht des Behälters nimmt zu, und derselbe sinkt desto tiefer, je mehr Wasser er enthält. Soll die Vorrichtung steigen, so entfernt man durch Bewegung der Kolben Wasser aus den Röhren. Mittels solcher Taucherapparate, die gleich dem Cartesianischen Taucher in beliebiger Tiefe zum Schweben gebracht werden können, ist es in neuerer Zeit dem Submarine-Ingenieur Bauer gelungen, im Bodensee ein untergegangenes Dampfschiff aus einer Tiefe von 180 M. zu heben und ans Land zu schaffen.

§. 89. Das Schwimmen.

Wenn Kork oder Tannenholz unter die Wasseroberfläche getaucht und sich selbst überlassen wird, so steigt es empor, taucht nur noch theilweise ein und schwimmt. Kork und Tannenholz sind leichtere Stoffe, als eine gleich große Wassermenge.

Versuch a. Ein eiserner Nagel, den wir auf die Wasseroberfläche legen, sinkt unter, weil Eisen ein schwererer Stoff ist, als gleich viel Wasser. Steckt man aber den Nagel in einen hinreichend großen Kork und taucht ihn wieder ein, so schwimmt er. Man kann also Körper dadurch zum Schwimmen bringen, daß man Stoffe an sie befestigt, die leichter sind, als eine gleich große Wassermenge. Der schwere und der leichtere Körper machen zusammen einen einzigen Körper aus, der hinreichend leicht ist.

Versuch b. Man tauche eine Untertasse, einen Probircylinder oder eine messingene Schale in ein Wasserbecken unter. Porzellan, Glas und Messing sind schwerer, als Wasser und sinken zu Boden. Nun gieße man das Wasser aus dem Probircylinder und korke ihn zu; er bildet jetzt einen hohlen, mit Luft erfüllten Körper und schwimmt. Die Untertasse oder Metallschale schwimmt ebenfalls, wenn sie so auf die Wasserfläche gestellt wird, daß ihre Höhlung nach oben gewandt und nur

mit Luft erfüllt ist. Sammt der in ihm enthaltenen Luftmenge ist das ausgehöhlte Glas, Porzellan oder Messing leichter, als eine gleich große Wassermenge. Schwere Stoffe lassen sich durch Aushöhlen und durch Befestigen an Körper zum Schwimmen bringen, die leichter sind, als eine gleich große Wassermenge.

So wird es möglich, eiserne Boote zu bauen, und zu Schiffbrücken kupferne Pontons zu verwenden, auf denen noch Balken und Bretter lasten. Um auf den Meeresgrund gesunkene Lasten zu heben, senkt man wasserdichte, leere Fässer mit angehängten Gewichten abwärts, befestigt die Fässer an die Last und entfernt die Gewichte. Als die Römer in dem ersten punischen Kriege auf Sicilien eine große Anzahl Elephanten gefangen hatten, fehlte es an geeigneten Schiffen, um sie nach Italien überzusetzen; man baute deshalb mit Hülfe leerer Tonnen große Fahrzeuge, indem man eine große Menge Tonnen aneinander befestigte, darüber einen Boden von Brettern festlegte und das Ganze mit einem Geländer umgab; nachdem Erde auf die Bretter geschüttet war, gingen die Elephanten willig hinauf und gelangten glücklich an die italienische Küste. Die holländischen Kriegsschiffe werden dadurch über die Sandbänke der Zuydersee geschafft, daß man an beide Seiten des Schiffes durch Taue breite, leere Kasten befestigt, welche bewirken, daß das Schiff weniger tief geht.

Das Schwimmen des Menschen. Der Körper der meisten Menschen ist ein wenig leichter, als eine gleich große Wassermenge. Allein er sinkt doch ungefähr bis an die Mitte der Nase ein, so daß das Wasser Mund und Nase versperrt und dadurch das Athmen verhindert. Statt der Luft wird dann beim Athmen Wasser eingezogen, und der dadurch schwerer gewordene Körper sinkt hinab. Nur ein kleiner Theil des Körpers wird durch das Wasser über die Oberfläche gehoben; es kommt darauf an, daß dies Mund und Nase seien, die über das Wasser hervorragen. Die meisten Menschen vermögen daher, sich über Wasser zu erhalten, wenn sie auf dem Rücken liegen und auch den Hinterkopf eintauchen. Das künstliche Schwimmen besteht in geeignet gegen das Wasser ausgeführten Stößen und wird leichter erlernt, sobald es gelungen ist, auf dem Rücken liegend sich vom Wasser tragen zu lassen. Nichtschwimmer begehen, wenn sie ins Wasser fallen, zwei Fehler, durch die sie ihre Rettung erschweren; sie strecken die Arme aus dem Wasser, wodurch bewirkt wird, daß der Kopf unter Wasser kommt, und, statt den Athem anzuhalten, athmen sie stark aus, wodurch der Umfang des Körpers verkleinert, und sein Sinken befördert wird. Da die Flüssigkeit den menschlichen Körper fast hinreichend emporhebt, so ist nur eine mäßige Anstrengung erforderlich, um einen Ertrinkenden zu retten; ein unbesonnener, zu großer Kraftaufwand bringt den Rettenden in die Gefahr, selbst das Gleichgewicht zu verlieren. In den Körper eines Ertrunkenen dringt Wasser und bringt ihn zum Sinken; nach einiger Zeit beginnt die Verwesung, es entwickeln sich in dem Körper Luftarten und dehnen ihn so aus, daß er eine größere Wassermenge verdrängt und an die Oberfläche

emporsteigt; endlich aber springen die Gefäße, in denen sich Luft entwickelt, mehr Wasser dringt ein, und der Körper sinkt für immer.

§. 90. Die Dichte oder das specifische Gewicht.

Legt man in die eine Schale einer Wage einen Würfel aus Holz und in die andere einen eben so großen Würfel aus Eisen, so zeigt sich das Eisen schwerer, als das gleich große Stück Holz. Eis schwimmt auf dem Wasser; es ist also leichter, als eine gleich große Wassermenge. In beiden Fällen hat man gleich große Stücke oder Raumtheile verschiedener Körper mit einander verglichen. Daß gleiche Stücke gemeint sind, zeigt man dadurch an, daß man sagt: Eisen ist specifisch schwerer oder ist dichter, als Holz; Eis ist specifisch leichter oder weniger dicht, als Wasser, was darin seinen Grund hat, daß die Theilchen des Eises durch größere Zwischenräume von einander getrennt sind und weniger dicht bei einander liegen, als die des Wassers.

Hat man drei gleiche viereckige Kästchen, so groß, daß eins 1 Gr. Wasser faßt, und gießt man in das zweite Spiritus und in das dritte Quecksilber, so wiegt der Spiritus darin 0,8 Gr., das Quecksilber 13,5 Gr. Ein eiserner Würfel, der genau in eins der Kästchen paßt, hat ein Gewicht von 7,5 Gr., ein gleicher Würfel von Tannenholz ein Gewicht von 0,5 Gr.

Tannenholz	Spiritus	Wasser	Eisen	Quecksilber
0,5	0,8	1	7,5	13,5

Von diesen gleich großen Körpern hat demnach Tannenholz das kleinste Gewicht, Quecksilber das größte.

Man ist übereingekommen, das Gewicht der verschiedenen Stoffe mit dem des Wassers, als des am meisten verbreiteten Körpers zu vergleichen. Das specifische Gewicht oder die Dichte ist die unbenannte Zahl, welche angiebt, wie viel Mal so viel ein Körper wiegt, als eine gleich große Wassermasse. Da ein Stück Tannenholz 0,5 Gr. wiegt, während eine gleich große Wassermasse 1 Gr. wiegt, so sagt man, das specifische Gewicht oder die Dichte des Tannenholzes sei 0,5. Die Dichte des Eisens ist 7,5, heißt also: Ein Stück Eisen wiegt 7,5 Mal so viel, als eine Wassermasse von derselben Größe. Da 1 Cubik-Cm. Wasser (§. 3) 1 Gr. wiegt, wiegt 1 Cubik-Cm. Eisen 7,5 Gr. Das specifische Gewicht giebt daher auch an, wie viel Gr. 1 Cubik-Cm. eines Stoffes wiegt. Ebenso viel Klgr. wiegt 1 Cubik-Dm oder Liter desselben Stoffes.

§. 91. Bestimmung der Dichte fester Körper.

Um die Dichte verschiedener Körper zu finden, bedient man sich am besten einer empfindlichen gleicharmigen Wage, deren eine Schale an kürzeren Schnüren hängt; es reicht dazu eine sogenannte Handwage mit messingenem Wagebalken aus, wie sie in den Apotheken gebraucht und für 6 bis 10 Mark von den Mechanikern geliefert wird.

Versuch a. Will man die Dichte eines Stückchens Zinkblech oder irgend eines andern festen Körpers bestimmen, der im Wasser untersinkt, so bindet man ihn an ein Pferdehaar und knüpft dasselbe an die Schale, deren Schnüre man durch Einbinden verkürzt hat. Legt man in die andere Schale Gewichte, bis sich der Wagebalken horizontal stellt, so geben diese das Gewicht des in der Luft hängenden Zinkstücks an, welches 14 Gr. betragen möge. Zum Unterschied von dem specifischen Gewicht bezeichnet man das Gewicht eines Körpers in der Luft, das man gewöhnlich schlechthin sein Gewicht nennt, als sein absolutes Gewicht. Darauf stellt man ein Glas mit Wasser unter das Zink und läßt es ganz eintauchen. Das Gleichgewicht ist gestört; um es wieder herzustellen, wird man in die kürzere Schale 2 Gr. legen müssen. Diese 2 Gr. geben den Gewichtsverlust des Zinkstücks oder das Gewicht einer gleich großen Wassermasse an. 2 Gr. Wasser nehmen den Raum von 2 Cubik-Cm. ein; ebenso groß ist der Raum, den das Stück Zink einnimmt. 2 Cubik-Cm. Zink wiegen 14 Gr., 1 Cubik-Cm. Zink wiegt 7 Gr. Da ein Cubik-Cm. Wasser 1 Gr. wiegt, wiegt 1 Cubik-Cm. Zink 7 Mal so viel; es ist also 7 Mal so dicht, als Wasser, und seine Dichte ist = 7.

Versuch b. Ein Körper, der specifisch leichter ist, als Wasser, muß beim Untertauchen an einen specifisch schwereren befestigt werden. Da sich dazu das in Versuch a. benutzte Zinkblech eignet, so läßt man, ohne das Geringste zu ändern, das Zink im Wasser und die Gewichte in ihren Schalen, so daß die 14 Gr. in der Gewichtsschale den 2 Gr. sammt dem eingetauchten Zink noch ferner das Gleichgewicht halten. Nun legt man das Stückchen Tannenholz, dessen Gewicht man bestimmen will, in die kürzere Schale und thut in die längere Gewichte zur Herstellung des Gleichgewichts. Ist dazu 1 Gr. nöthig, so wiegt das Holz 1 Gr. Um seinen Gewichtsverlust zu finden, nimmt man das Zinkblech aus dem Wasser, klemmt das Holz dazwischen fest und läßt beides in das Glas eintauchen. Die kürzere Schale steigt, und man wird 2 Gr. in dieselbe legen müssen, um der Wage ihre horizontale Stellung wiederzugeben. 2 Gr. beträgt der Gewichtsverlust des Holzes oder das Gewicht einer dem Holz gleichen Wassermasse; da 2 Gr. Wasser den Raum von 2 Cubik-Cm. einnehmen, beträgt der Rauminhalt des Holzes 2 Cubik-Cm. 2 Cubik-Cm. Holz wiegen 1 Gr.; 1 Cubik-Cm. Holz wiegt $\frac{1}{2}$ Gr. Da 1 Cubik-Cm. Wasser 1 Gr. wiegt, ist Tannenholz halb so dicht, als Wasser, seine Dichte ist $\frac{1}{2} = 0{,}5$.

Versuch c. Ist der Körper, dessen Dichte man zu bestimmen hat, im Wasser löslich, so daß man ihn nicht darin untertauchen darf, so untersucht man, wie viel Mal so dicht er ist, als eine andere Flüssigkeit, die ihn nicht auflöst. Man habe die Dichte des Steinsalzes (Kochsalzes) zu ermitteln; dann vergleiche man es mit der Dichte des Terpentinöls. Das Stück Salz wiege 5 Gr.; es wird, in Terpentinöl getaucht, 2 Gr. verlieren, so daß eine ihm gleiche Menge Terpentinöl 2 Gr. wiegt. Das Salz ist daher $^5/_2 = 2^1/_2$ Mal so dicht, als Terpentinöl. Dies aber ist, wie sich nach dem sogleich zu beschreibenden Verfahren finden läßt, $^4/_5$ Mal so dicht, als Wasser. Folglich ist das Salz $^5/_2 \times {}^4/_5 = {}^{20}/_{10} = 2$ Mal so dicht, als Wasser.

Versuch d. Auch ohne Kenntniß des Archimedischen Gesetzes läßt sich, durch unmittelbares Abwägen, wenn auch weniger genau, die Dichte eines festen Körpers bestimmen. Nachdem man zuerst das absolute Gewicht des in Versuch a. benutzten Zinkbleches, 14 Gr., gefunden hat, wägt man zweitens ein Gläschen voll Wasser und das daneben liegende Zink. Sodann nimmt man das Gläschen von der Wageschale, legt das Zink ins Wasser, trocknet das Glas ab und nimmt die dritte Wägung vor, durch die man erfährt, wie viel das Gefäß Wasser sammt dem festen Körper wiegt, nachdem derselbe die ihm gleiche Flüssigkeitsmenge verdrängt hat. Da die zweite Wägung vor der Verdrängung des Wassers geschehen ist, so muß der Unterschied zwischen der zweiten und dritten Wägung das Gewicht der verdrängten Wassermenge angeben.

§. 92. Bestimmung der Dichte einer Flüssigkeit mittels der Wage.

Versuch a. Es sei die Dichte des reinen Spiritus zu bestimmen. Man hängt an die kürzere Wageschale ein Stück Metall oder Glas, das im Wasser untersinkt. Den Glaskörper lasse man in Wasser tauchen und suche seinen Gewichtsverlust darin, der 5 Gr. betragen mag. Dann sind 5 Gr. das Gewicht einer dem Glase an Rauminhalt gleichen Menge Wasser. 5 Gr. Wasser nehmen den Raum von 5 Cubik-Cm. ein. Das Glasstück verdrängt daher 5 Cubik-Cm. Flüssigkeit. Zweitens lasse man das Glasstück in ein Gefäß mit dem zu untersuchenden Spiritus tauchen; verliert es hierin 4 Gramm, so sind 4 Gramm das Gewicht einer dem Glase an Rauminhalt gleichen Menge Spiritus. Da 5 Cubik-Cm. Spiritus verdrängt sind, wiegen 5 Cubik-Cm. Spiritus 4 Gr.; 1 Cubik-Cm. Spiritus wiegt daher $^4/_5$ Gr., und die Dichte des Spiritus ist $^4/_5 = 0{,}8$.

Versuch b. Das Gewicht einer tropfbaren Flüssigkeit läßt sich auch durch unmittelbares Abwägen in einem Glase ohne Eintauchen bestimmen. Das leere Glas wird auf die Wage gestellt und tarirt, indem man so viel Schrotkörner in die andere Schale legt, daß das Gleichgewicht eintritt. Darauf füllt man das Glas zuerst voll Wasser und wägt dasselbe; sodann füllt man, nachdem das Wasser ausgegossen ist, das Glas mit Oel oder Spiritus, wenn man dessen Dichte sucht, und wägt auch diese Flüssigkeit.

Wiegt das Wasser 10 Gr., so faßt das Glas 10 Cubik-Cm. Das Baumöl in dem Glase wird 9 Gr. wiegen. 10 Cubik-Cm. Oel wiegen 9 Gr.; 1 Cubik-Cm. wiegt $^{9}/_{10}$ Gr., und die Dichte des Baumöls ist $^{9}/_{10}$.

§. 93. Das Aräometer.

Versuch. In einen engen Probircylinder thue man etliche Schrotkörner und versuche, ob er in einem Trinkglase aufrecht schwimmt und ungefähr bis zur Mitte seiner Länge eintaucht. Darauf nehme man ihn wieder aus dem Wasser, schiebe einen Papierstreifen, dessen Länge man durch Striche in kleine gleiche Theile getheilt, hinein und merke sich beim abermaligen Eintauchen, bis zu welchem Punkte der Cylinder einsinkt. Taucht man ihn in ein Glas mit Spiritus, so wird er tiefer einsinken; in Wasser, worin man Salz aufgelöst hat, wird er weniger tief eintauchen. Spiritus ist weniger dicht, Salzwasser ist dichter, als reines Wasser. Ein und derselbe schwimmende Körper sinkt in einer leichteren Flüssigkeit, die weniger tragen kann, tiefer ein, als in einer schwereren, deren Tragkraft größer ist. An der Stelle, die der zum Theil eingetauchte Körper einnimmt, befand sich vorher eine Wassermasse, so schwer, wie der schwimmende Körper; ist die Flüssigkeit weniger dicht, so muß der Körper, um ebenso viel Gewichtstheile zu verdrängen, mehr von der Flüssigkeit verdrängen und tiefer einsinken. Aus der Tiefe, bis zu welcher ein und derselbe Körper in verschiedenen Flüssigkeiten einsinkt, läßt sich daher auf deren Dichte schließen.

Fig. 117.

Im Handel bedient man sich zur Bestimmung der Dichte und Güte von Flüssigkeiten, besonders von Spiritus, Salzsolen und Zuckerlösungen, der **Aräometer** (Dichtemesser).*) Es sind eingetheilte Glasröhren, die sich unterwärts zuerst zu einem Cylinder und weiter abwärts zu einer Kugel erweitern. Der hohle Cylinder bewirkt, daß das Instrument schwimmt; die Kugel ist mit Schrot oder Quecksilber gefüllt und hat den Zweck, daß der Schwerpunkt möglichst tief liege, und das Aräometer aufrecht schwimme. Jedes Aräometer wird nur für eine bestimmte Flüssigkeit angefertigt, und wenn es für Spiritus bestimmt ist, nennt man es auch wohl Spirituswage oder Branntweinwage. Da reiner Spiritus weniger dicht ist, als Wasser, so wird jede Mischung von Spiritus und Wasser, wie sie im Handel vorkommen, desto dichter, je mehr Wasser darin enthalten ist; doch bleibt sie immer noch leichter, als reines Wasser. Um durch Eintauchen des Aräometers erkennen zu können, wie viel Theile Spiritus sich unter 100 Theilen der Flüssigkeit finden, oder wie viel Procent Spiritus die Mischung hat, taucht man das Instrument

*) Der Name „Aräometer" ist gebildet aus den griechischen Wörtern araiòs, dünn oder von geringer Dichte, und métron, Maß, und bedeutet ursprünglich: ein Instrument zum Messen der geringen Dichte (von Flüssigkeiten).

zuerst in reines Wasser und bezeichnet den Punkt, bis zu dem es einsinkt, und der unten an der Glasröhre liegen wird, mit 0, zum Zeichen, daß kein Spiritus in der Flüssigkeit enthalten ist. Hierauf taucht man es in eine Mischung von 95 Theilen Wasser und 5 Theilen Spiritus und bezeichnet den Punkt an der Röhre mit 5, wodurch angezeigt wird, daß die Mischung unter 100 Theilen der Flüssigkeit 5 Theile Spiritus oder 5 Procent enthält. Ebenso senkt man das Aräometer in Mischungen, die 10, 15 und 20 und so fort bis 100 Procent Spiritus enthalten, und schreibt diese Procentzahlen an den Punkt der Glasröhre, bis zu dem sie in der jedesmaligen Mischung einsinkt. Will man nun die Güte des käuflichen Spiritus oder Branntweins untersuchen, so giebt die Zahl, bis zu der das Aräometer darin eintaucht, die Procente des Spiritus an. Nur ist noch zu bedenken, daß der Spiritus durch größere Wärme ausgedehnt und leichter wird und dann von größerer Güte scheint, als wirklich der Fall ist.

§. 94. Anwendungen von der Kenntniß der Dichte.

Außer der häufigen Anwendung zur Prüfung käuflicher Flüssigkeiten wird die Dichte überhaupt, als Kennzeichen für die Aechtheit und Reinheit eines Stoffes, untersucht. Findet sich die Dichte zu groß, so ist der Stoff mit schwereren Körpern versetzt; findet sie sich zu klein, so ist er mit leichteren Stoffen vermischt. Daher lassen sich Münzverfälschungen leicht durch Untersuchung der Dichte erkennen, und unvermischte Metalle von Metallmischungen, besonders Gold von Tomback, reines Gold von dem mit Silber versetzten, reines Zinn von dem mit Blei versetzten unterscheiden. Für die Mineralien gehört die Dichte zu den besten Unterscheidungszeichen. Platin hat eine Dichte von 21, Gold 19, Quecksilber 13,5, Blei 11,4, Silber 10,5, Kupfer 8—9, Eisen 7,5, Zink 7, Eis 0,9, Tannenholz 0,5 und Kork 0,25; Baumöl 0,9 und reiner Spiritus 0,8.

§. 95. Entdeckung des Archimedischen Gesetzes.

Archimedes, der die Größe des Gewichtsverlustes entdeckt und mit Hülfe desselben zuerst die Dichte der Körper bestimmt hat, ist durch eine Aufgabe seines Königs darauf geführt worden. Der König Hiero von Syrakus hatte einem Goldschmied 20 Pfund reinen Goldes abwägen lassen mit dem Auftrage, daraus eine Krone für ein Götterbild zu arbeiten. Die angefertigte Krone wog richtig 20 Pfund. Gleichwohl verbreitete sich unter dem Volke das Gerücht, daß ein Theil des Goldes unterschlagen, und statt dessen Silber verwandt sei. Der König beauftragte den Archimedes, die Sache zu untersuchen, ohne die Krone zu zerbrechen oder zu beschädigen. Vergebens suchte dieser einen Weg, um die ihm gestellte Aufgabe zu lösen, als ihm eines Tages die Wahrnehmung, daß sein Körper aus der ganz gefüllten Badewanne zugleich Wasser verdränge und, indem

er die Stelle des verdrängten Wassers einnehme, von dem übrigen Wasser gehoben werde, plötzlich ein Fingerzeig zur Lösung ward. Eilend verließ er das Bad mit dem Freudenrufe: „Heureka!“ d. h. „Ich habe es gefunden!“ welcher dadurch das Motto für jede lange gesuchte und plötzlich gefundene Entdeckung geworden ist. Er ermittelte den Gewichtsverlust des reinen Goldes und den des Silbers; das Gold verlor $1/_{19}$, das Silber ungefähr $1/_{10}$ seines Gewichts; denn so viel wogen die ihnen gleichen Wassermassen. Das damals gebräuchliche Pfund war wahrscheinlich gleich 323 Gr. War die 20 Pfund schwere Krone aus reinem Golde, so mußte sie im Wasser $20/_{19}$ Pfund oder 340 Gr. verlieren. Allein ihr Gewichtsverlust war größer; er betrug $1\frac{1}{4}$ Pfund oder $403\frac{3}{4}$ Gr., also $63\frac{3}{4} = 63{,}75$ Gr. zu viel. Das Gold war also versetzt, wahrscheinlich mit Silber. 1 Pfund Gold verlor im Wasser 17 Gr., 1 Pfund Silber dagegen 32,3 Gr. Hatte der Goldschmied von der ganzen Goldmasse 1 Pfund weggenommen und an seine Stelle 1 Pfund Silber gesetzt, so mußte statt eines Gewichtsverlustes von 17 Gr. ein Gewichtsverlust von 32,3 Gr. eintreten. Um wie viel 32,3 Gr. größer sind, als 17, nämlich um 15,3 Gr., um so viel mußte durch jedes verarbeitete Pfund Silber der Gewichtsverlust zu groß ausfallen. Der Gewichtsverlust der ganzen Krone zeigte sich aber um 63,75 Gr. zu groß. 15,3 Gr. davon rührten von einem Pfund Silber her; 1 Gr. rührte von $\frac{1}{15{,}3}$ Pfund Silber her, und 63,75 Gr. von $\frac{63{,}75}{15{,}3}$ oder $4{,}166 = 4\frac{1}{6}$ Pfund Silber. So viel Pfund Silber waren statt des Goldes genommen, vorausgesetzt, daß beide Metalle nach dem Zusammenschmelzen ihren früheren Umfang beibehalten haben, was nicht genau der Fall ist.

Die Bewegung fließender Gewässer und die Wellenbewegung.

§. 96. Die Geschwindigkeit fließender Gewässer.

Das Bett eines Flusses bildet eine schiefe Ebene, auf welcher das Wasser sich hinabbewegt, und deren Höhe für eine bestimmte Strecke das Gefälle des Flusses heißt. Die Geschwindigkeit des fließenden Wassers zeigt sich bedeutend kleiner, als die eines festen Körpers sein würde, der von einer eben so steilen Ebene hinabrollt. Ursachen dieses Verlustes an Geschwindigkeit sind die Adhäsion der Flüssigkeit an die Wände des Ufers, die Kraft des Zusammenhanges, welche die sich bewegenden Wassertheile zu überwinden haben, wenn sie von den sich nicht bewegenden sich losreißen und an ihnen vorbeigleiten, vor Allem aber die Unebenheiten und Krümmungen der Ufer. Wo sich das Flußbett krümmt, und der ganze Stoß des Wassers das eine Ufer trifft, da verwendet es seine Arbeitskraft dazu, das Ufer auszuspülen und das Bett zu erweitern. Wo

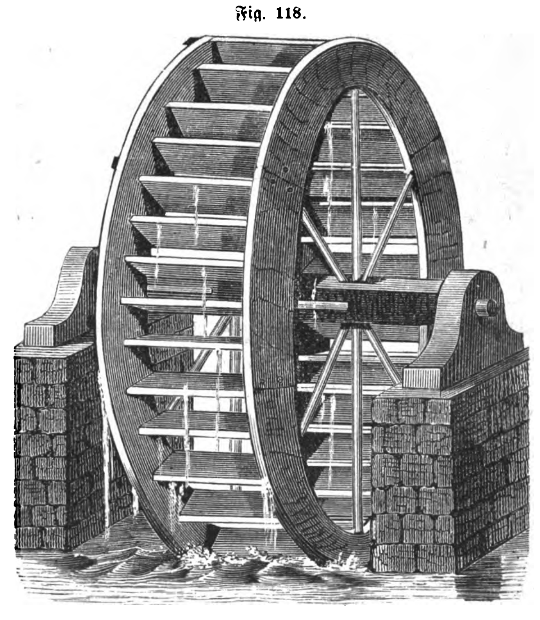
das Flußbett enger wird, da drängt sich die Wassermasse mit größerer Geschwindigkeit hindurch, gräbt sich einen tieferen Weg und führt vom Boden eine Menge Sand mit hinweg; an breiteren Stellen setzt es denselben wieder ab und bildet eine Sandbank. Die Geschwindigkeit eines Baches oder Flusses wird durch Versuche ermittelt, indem man leichte Körper, gewöhnlich hohle Metallkugeln, auf dem Wasser schwimmen läßt und beobachtet, wie weit sie in der von einer guten Uhr angegebenen Zeit sammt dem Wasser sich bewegen. Oder man bedient sich eines kleinen, leichtbeweglichen Rades mit Schaufeln, dessen Umfang man gemessen hat, hält seine untersten Schaufeln ins Wasser und zählt die von ihm in einer Minute vollendeten Umdrehungen; beträgt sein Umfang $^1/_2$ M., so durchläuft das sich fast genau gleich schnell mit den Schaufeln bewegende Wasser bei jeder Umdrehung $^1/_2$ M., und in der Minute, wenn man 180 Umdrehungen gezählt hätte, 180 halbe M., so daß seine Geschwindigkeit in der Secunde $1^1/_2$ M. wäre.

§. 97. Das Wasser als bewegende Kraft.

Um das fließende Wasser als bewegende Kraft zu benutzen, wendet man meistens Wasserräder mit wagerechten Wellen an, auf deren Umfang man das Gewicht oder den Stoß des Wassers oder beides zugleich wirken läßt.

a. Ein **unterschlächtiges Wasserrad** besteht aus der Welle, um die es sich dreht, und dem Radkranz, auf welchem, wie Verlängerungen der Halbmesser des Rades, ringsum in gleichen Entfernungen von einander Bretter, die Schaufeln, angebracht sind. Das Wasser wirkt durch seinen Stoß unten auf das Rad und bewegt die unterste, eintauchende Schaufel vorwärts; an ihre Stelle tritt die folgende Schaufel, und wird gleichfalls weiter bewegt. Das Wasser fließt in einem Canal, dem Mühlengerinne, welches mit seinem Boden und seinen Seitenwänden das Rad mit dem zu seiner Bewegung ausreichenden Spielraum einschließt. Unterschlächtige Räder baut man bei ge-

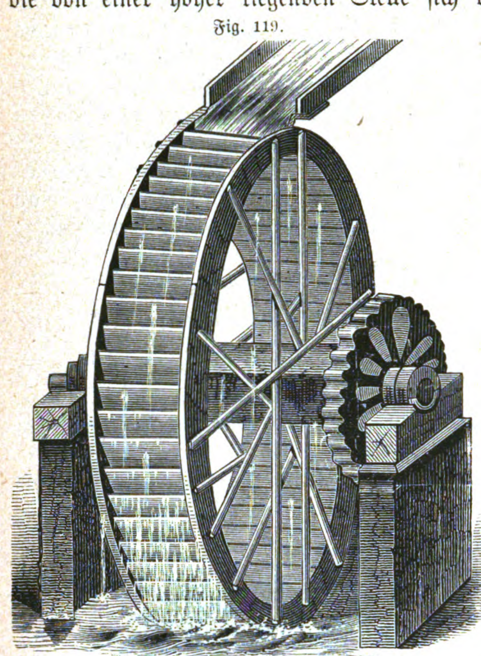
Fig. 118.



ringerem Gefälle und großer Wassermenge und giebt ihnen einen Durchmesser von 3 bis 6 M.; ihre Leistung erreicht nur $^3/_{10}$ von der Arbeit, die das hinabfließende Wasser vollbringt.

b. Das oberschlächtige Wasserrad. In manchen Gegenden, besonders in Gebirgsländern, hat man über eine geringe Wassermenge zu gebieten, die von einer höher liegenden Stelle sich durch ein Gerinne herbeileiten und so benutzen läßt, daß sie durch ihr Gewicht auf den oberen Theil eines Wasserrades wirkt. Der Radkranz eines solchen oberschlächtigen Rades enthält statt der Schaufeln ringsum Kasten oder Zellen. Aus dem Gerinne fällt das Wasser in die oberen Zellen und drückt sie abwärts, füllt darauf die nächsten Zellen und giebt dadurch der einen Hälfte des Rades das Uebergewicht. Alle vor der Mündung des Gerinnes vorübergehenden Zellen füllen sich mit Wasser und schütten dasselbe erst nahe dem tiefsten Punkte ihres kreisförmigen Weges wieder aus; stets sind daher fast sämmtliche Zellen auf der einen Seite des Rades mit Wasser gefüllt, während die auf der andern Seite leer emporsteigen. Die Höhe, von der das Wasser hinabfällt, beträgt 3 bis 12 M., der Durchmesser des Rades wird fast ebenso groß genommen, und seine Leistung erreicht $^6/_{10}$ von der Arbeit, welche das hinabfallende Wasser vollbringt. Ein gezahntes Rad an der Welle dient zur Fortleitung der Bewegung.

Fig. 119.



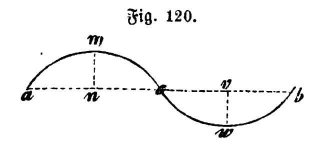
c. Wo das Gefälle geringer, aber die Wassermasse größer ist, als für oberschlächtige Räder erfordert wird, wendet man mittelschlächtige Räder an. Das Wasser trifft die Mitte des Radkranzes in der Höhe der Welle und wirkt sowohl durch sein Gewicht, als durch seinen Stoß.

§. 98. Wellenberg und Wellenthal.

Versuch. In die Mitte eines mit Wasser gefüllten Beckens lasse man aus einem Glase nach einander einzelne Wassertropfen fallen. Wo ein Tropfen die Wasserfläche trifft, entsteht eine Vertiefung; rings um dieselbe bildet sich durch die Bewegung des Wassers eine Erhöhung, um diese wieder eine Vertiefung, auf welche abermals ein erhöhter Wall folgt.

So werden durch einen ins Wasser fallenden Tropfen, einen Stein oder einen Windstoß Wellen hervorgebracht. Jede Welle besteht aus einem Wellenberg und einem Wellenthal; der Wellenberg erhebt sich über den Spiegel des ruhenden Wassers, das Wellenthal senkt sich unter denselben hinab. Die Höhe einer Welle wird von dem tiefsten Punkte ihres Thales w bis zu dem Gipfel ihres Berges m gerechnet. Unter der Länge einer Welle ist die Breite des Berges und die des Thales zusammengenommen zu verstehen, so daß die Länge der gezeichneten Welle sich von a bis zum Punkte b erstreckt.

Fig. 120.

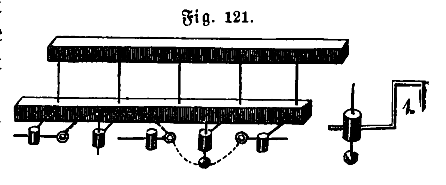


§. 99. Auf- und Niedersteigen der Wassertheilchen beim Fortschreiten der Wellengestalt.

Die Wellen schreiten von dem Punkte ihrer Entstehung aus nach allen Seiten fort, und es hat den Anschein, als wäre die Wassermasse in fortschreitender Bewegung. Daß dies nicht der Fall ist, lehrt folgender Versuch. Man errege bei windstillem Wetter, indem man einen Stein lothrecht auf die Wasserfläche fallen läßt, Wellen in einem See oder Teich. Wirft man nun ein Stückchen Holz auf die Wellen, so muß die bewegte Wassermasse demselben ihre Bewegung mittheilen; der schwimmende Körper wird aber nur in eine schaukelnde, auf- und niedersteigende Bewegung versetzt. Daraus folgt, daß die Wassertheilchen bei der Wellenbewegung keineswegs eine fortschreitende, sondern auf- und niedersteigende Bewegung haben. Die Beobachtung der in langen Kasten mit Glaswänden mit Torfstückchen untermischten Wassertheilchen hat ferner gelehrt, daß sie bei der Wellenbewegung in kreisförmigen Bahnen auf- und absteigen, wobei die vom Mittelpunkt der Welle entfernteren Theilchen ihre Bewegung später beginnen.

Versuch. Um eine Vorstellung davon zu erhalten, wie bei kreisförmiger Bewegung der einzelnen Wassertheilchen die Wellengestalt bestehen könne, nehme man zwei schmale, etwa 30 Cm. lange Brettchen oder Stäbe und mache sie von gleicher Länge. Dann gebe man jedem in gleichen Abständen fünf Bohrungen, um Drähte aufzunehmen, und lasse die durchbohrten Stellen des einen Brettchens genau so weit von einander entfernt sein, als die des andern. Darauf biege man aus fünf Drahtstücken von 8 Cm. Länge kleine, ganz gleiche Kurbeln und schiebe deren oberes wagerechtes Ende durch die Bohrungen des einen, das untere Ende durch die Bohrungen des andern Brettes; die oberen Enden kann man darnach zu der in Nr. 1 gezeichneten Form umbiegen. Während das eine Brett von

Fig. 121.



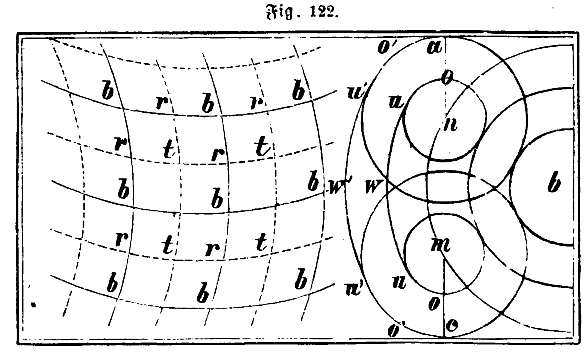
der linken Hand gehalten wird, läßt sich das andere mit der rechten so bewegen, daß alle Kurbeln sich umdrehen. An die aus dem untern Brette hervorragenden Kurbelenden werden Korke und durch diese große Stecknadeln gesteckt, deren Knöpfe die Theilchen des wellenschlagenden Wassers darstellen. Ist die Welle entstanden, so haben die Wassertheilchen verschiedene Höhe erreicht. Man stecke daher, von der Linken an gerechnet, die erste Nadel wagerecht, die zweite lothrecht mit dem Knopfe nach oben, die dritte wieder wagerecht, die vierte lothrecht mit dem Knopfe nach unten, und die letzte wagerecht ein. So hat man links den Wellenberg, rechts das Wellenthal abgebildet. Dreht man durch Bewegung des einen Brettchens die kleinen Kurbeln, so beschreiben sämmtliche Nadelknöpfe ihre kreisförmigen Bahnen; in welchem Theil ihrer Bahn sie sich auch befinden mögen, stets bleibt die Wellengestalt. Man beachte denjenigen Knopf, der bei irgend einer Gestalt sich an der höchsten Stelle befindet und den Gipfel des Wellenberges darstellt; beim Drehen gelangt zuerst der nächste Knopf, dann der folgende auf die gleiche Höhe, und der Wellenberg schreitet fort. Dasselbe Fortschreiten nimmt man am Wellenthale wahr.

§. 100. Interferenz und Beugung der Wellen.

Versuch. Erregt man gleichzeitig an zwei Stellen eines Wasserbeckens Wellen, so begegnen sie bald einander, durchkreuzen sich und schreiten nachher ungestört weiter.

In größeren Wasserbehältern oder in Teichen lassen sich die bei der Durchkreuzung selbst eintretenden Erscheinungen deutlich beobachten. Treffen zwei Wellenberge zusammen, so zeigt sich ein Berg von größerer Höhe, und beim Zusammentreffen zweier Thäler entsteht ein Wellenthal von doppelter Tiefe. Wo aber ein Wellenberg mit einem Wellenthal zusammen-

Fig. 122.



trifft, füllt er das Thal aus, und es entsteht eine ruhende, ebene Fläche. Ein solches Zusammentreffen zweier Wellen, bei welchem die Berge die Thäler ausfüllen, heißt (von dem englischen to interfere, zusammenstoßen) die Interferenz der Wellen. In der Zeichnung bedeuten die Linien die höchsten Theile der beiden Wellenreihen, die punktirten Linien die

Wellenthäler; es entstehen an allen mit b bezeichneten Punkten Berge von doppelter Höhe und an allen mit t bezeichneten Stellen Thäler von doppelter Tiefe, an den mit r bezeichneten Stellen aber, wo Berg und Thal zusammentreffen, ruhende, ebene Flächen.

Trifft eine kreisförmige Welle eine feste Wand anmc, in welcher eine Oeffnung nm angebracht ist, so geht der mittlere Theil der Welle ungehindert hindurch; die nächsten Flüssigkeitstheilchen aber steigen an den Rändern n und m der Oeffnung empor und erregen, indem sie hinabsinken, neue Wellen ou und o′u′. Indem diese sich mit den ursprünglichen Wellen w und w′ vereinigen, verbreitern sich diese und erhalten die Form ouwuo und o′u′w′u′o′. Diese Verbreiterung einer durch eine Oeffnung gehenden Welle heißt die Beugung der Welle. Die von den Rändern der Oeffnung als Mittelpunkten ausgehenden Wellen durchkreuzen sich, so daß Berge und Thäler von größerer Höhe entstehen, aber auch Berge und Thäler zusammentreffen. Mit der Beugung der Wellen ist daher eine Interferenz derselben verbunden.

Mechanische Erscheinungen luftförmiger Körper.

§. 101. Gegenseitige Abstoßung der Theile eines luftförmigen Körpers.

Wie unter den tropfbarflüssigen Körpern das Wasser, so ist unter den luftförmigen (§. 104) die atmosphärische Luft, in der wir leben, und die den ganzen Erdball wie eine Hülle umgiebt, der bekannteste Körper. Mit allen übrigen Körpern haben die luftförmigen hauptsächlich das gemein, daß sie einen Raum einnehmen und erfüllen.*)

Versuch a. Setzt man einen Trichter, über dessen nicht zu weites Rohr gut schließend ein durchbohrter Kork (§. 105) geschoben ist, so auf eine Flasche, daß der Kork genau in die Oeffnung der Flasche paßt, und gießt man Wasser in den Trichter, so fließt es nicht in die Flasche. Der innere Raum der Flasche ist mit Luft erfüllt; sollte Wasser eindringen, so müßte ein Theil der Luft verdrängt werden; es bietet sich der Luft aber kein Ausweg; und in eben demselben Raum, den die Luft erfüllt, kann nicht zugleich Wasser sein.

Aber doch unterscheiden sich die luftförmigen Körper von den festen und tropfbarflüssigen in auffallender Weise. Die Theile eines festen Körpers hängen mit beträchtlicher Kraft zusammen und können beim Zerreißen oder Zerbrechen nur mit Kraftaufwand von einander losgerissen werden. Auch die Theile einer tropfbaren Flüssigkeit hängen, obwohl sie sich leicht verschieben lassen, doch mit einiger Kraft zusammen (§. 75). Die Theile eines luftförmigen Körpers dagegen haben unter einander gar

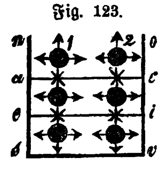
---

*) Die Eigenschaften, welche allen Körpern zukommen, heißen die allgemeinen Eigenschaften der Körper. Wesentliche allgemeine Eigenschaften oder solche, ohne die kein Körper gedacht werden kann, sind die Ausdehnung und die Undurchdringlichkeit. Vermöge seiner Ausdehnung nimmt jeder Körper einen Raum ein, der sich nach Länge, Breite und Höhe messen läßt. Vermöge der Undurchdringlichkeit oder Raumerfüllung erfüllt jeder Körper den Raum so, daß, wo er ist, nicht gleichzeitig ein anderer Körper sein kann. (Die Größe des von einem Körper eingenommenen Raumes heißt sein Volumen.) Zufällige allgemeine Eigenschaften der Körper sind Schwere, Beweglichkeit, Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit, Porosität und Theilbarkeit.

keinen Zusammenhang, sondern stoßen sich gegenseitig ab und suchen sich nach allen Seiten hin von einander zu entfernen, so weit äußere Hindernisse es gestatten.

Von den Lufttheilchen in einem Gefäße strebt jedes, von dem nächsten weiter hinwegzukommen, so daß sie zusammen einen größeren Raum einnehmen. Allein die mittleren Lufttheilchen werden durch die oberen verhindert, sich nach oben zu bewegen, nach den Seiten hindern die Wände des Gefäßes, und über den obersten Lufttheilchen ruhen außerhalb des Gefäßes wieder andere Lufttheile, die ebenso sehr sich abwärts zu bewegen trachten. Könnte man die obersten Lufttheilchen aus dem Gefäße nehmen und es dann verschließen, so würden die übrigbleibenden das ganze Gefäß einnehmen und einen größeren Raum erfüllen, als zuvor. Von einer tropfbaren Flüssigkeit dagegen würden, wenn man von sechs Theilen zwei hinweggenommen hat, die vier übrigen sich keineswegs in einen größeren Raum ausdehnen, sondern nur zum Theil das Gefäß füllen.

Fig. 123.



Versuch b. Man nehme zwei (Probirgläser oder) Probircylinder, einen weiteren von 15 Cm. Länge und einen kürzeren von 6 Cm. Länge, der enger ist und sich leicht in den weiteren schieben läßt. In Ermangelung eines hinreichend kurzen Cylinders schneidet man mit einer dreikantigen Feile das verschlossene Ende von einem längeren Cylinder in der bezeichneten Länge ab, indem man ringsherum so lange feilt, bis beide Stücke sich trennen. Der kürzere Cylinder werde zur Hälfte mit Baumöl (Olivenöl) gefüllt, und seine Oeffnung befinde sich oben; darauf halte man den längeren Cylinder umgekehrt, mit der Oeffnung nach unten, schiebe mit dem Finger und einem Bleistift den kleineren Cylinder aufrecht bis oben in den weiteren empor und kehre das Ganze um. Dann kehrt der kleinere Cylinder seine Oeffnung nach unten, in seinem unteren Theile befindet sich Oel und füllt auch den unteren Theil des größeren Cylinders. Oben aber enthält der kleinere Cylinder eine Luftmenge, die nach oben durch seinen Boden und nach unten durch das Oel begrenzt und abgesperrt ist. Diese Luftmasse hat das Bestreben, sich in einen größeren Raum auszudehnen und den kleinen Cylinder emporzuheben; daran wird sie durch die darüber ruhende Luft verhindert, die ein gleiches Bestreben besitzt und sie niederhält. Dehnte man dieselbe aus, so würde sie hinfort nicht mehr mit ihrer früheren Kraft den kleineren Cylinder niederdrücken, und die darin abgesperrte Luftmenge würde, weniger gehindert, sich ausdehnen. Man umwickle ein Holzstäbchen an dem einen Ende mit Flachs oder Werg, so daß es einen ziemlich genau an die inneren Wände des größeren Cylinders anschließenden Kolben bildet, und schiebe ihn langsam hinein, bis er eine Fingerbreite von dem kleinen Cylinder entfernt ist. Da in dem Flachs Zwischenräume vorhanden sind, so findet die Luft in dem größeren Cylinder Stellen, durch welche sie entweicht, und es bleibt unter dem Kolben nicht mehr Luft, als sich vor dem

Fig. 124.

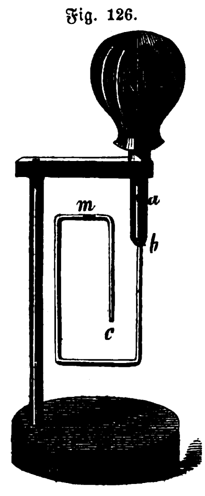
Einschieben desselben an derselben Stelle befand. Auf den Kolben werde von oben Baumöl gegossen, welches den Flachs tränkt, seine Zwischenräume ausfüllt und, wenn es nachher noch eine Fingerbreite über dem Kolben steht, denselben luftdicht macht. Zieht man nun den Kolben empor, so wird die Luft zwischen ihm und dem inneren Cylinder ausgedehnt, und ihr Bestreben, sich weiter auszudehnen und den Cylinder hinabzudrücken, wird kleiner. So von dem Hinderniß befreit, zeigt die in dem kleineren Cylinder abgesperrte Luftmasse sogleich ihr Bestreben, sich auszudehnen und hebt, damit sie einen größeren Raum einnehmen kann, den kleinen Cylinder empor. Jetzt ist die abgesperrte Luftmasse schon etwas ausgedehnt und verdünnt; dessenungeachtet ziehe man den Kolben weiter hinauf; die bereits verdünnte Luft dehnt sich, den Cylinder hebend, noch weiter aus und zeigt, daß auch verdünnte Luft noch das Bestreben hat, sich auszudehnen.

Versuch c. In eine enge Glasröhre bringe man durch Saugen an einem Ende einen Wassertropfen n und halte das Ende o der Röhre mit einem Finger luftdicht geschlossen. Dann ist zwischen dem Finger und dem Wassertropfen eine Luftmenge on abgesperrt. Saugt man mit dem Munde an dem offenen Ende der Röhre, so bewegt sich der Tropfen n nach dem Munde zu, und die Luftmenge on nimmt einen größeren Raum ein oder dehnt sich aus. Die Luftmasse zwischen dem Tropfen n und dem Munde hatte ein gleiches Bestreben, sich auszudehnen; durch Saugen ist ein Theil dieser Luftmasse weggenommen, das Bestreben sich auszudehnen ist in der Luftmenge zwischen Tropfen und Mund verringert und setzt der abgesperrten Luftmenge on einen geringeren Widerstand entgegen. Daher offenbart die Luftmenge on jetzt ihr Bestreben, einen größeren Raum einzunehmen, und dehnt sich aus.

Fig. 125.



Fig. 126.



Versuch d. In einen Gummiballon mit starken Wänden o wird mit Hülfe eines guten Korks luftdicht eine kurze Metallröhre ab eingesetzt, die bei a eine kleine Oeffnung hat. In die Metallröhre wird eine enge Glasröhre bmc eingekittet (mit Siegellack), und dieselbe, nachdem eine kurze Quecksilbersäule hineingebracht ist, an dem Ende c zugesiegelt oder zugeschmolzen. Die abgesperrte Luftmenge befindet sich zwischen dem verschlossenen Ende der Glasröhre c und der Quecksilbersäule m. Wenn man den Gummiballon o etwas zusammendrückt, nöthigt man einen Theil der in ihm enthaltenen Luft, aus der Oeffnung a zu entweichen. Nun verschließt man a mit einem Finger und läßt den Ballon los; er dehnt sich wieder aus; in ihm ist jetzt weniger Luft, sie übt einen geringeren Druck auf die Luftmenge cm aus, und diese dehnt sich aus und nimmt einen größeren Raum ein.

Das Bestreben der Luft, sich immer mehr auszudehnen und einen größeren Raum einzunehmen, nennt man ihre Spannkraft oder ihre Elasticität oder Ausdehnsamkeit. Sie zeigt dieselbe, wie die folgenden Versuche lehren, wie eine elastische Springfeder, wenn sie zusammengedrückt ist; aber nicht bloß dann, sondern sie behält sie immer, auch wenn sie noch so sehr verdünnt ist. Als daher Otto von Guerike, Bürgermeister zu Magdeburg, aus einem Thale eine Flasche, welche atmosphärische, nicht zusammengedrückte Luft enthielt und mit einem Hahn verschlossen war, mit auf den Gipfel eines Berges nahm, strömte beim Oeffnen des Hahnes die Luft, da ihre Ausdehnung durch die dünnere Luft auf dem Berge weniger gehindert wurde, zum Theil aus der Flasche mit hörbarem Zischen.

Die Spannkraft verdichteter Luft.

§. 102. Zunahme der Spannkraft bei zunehmender Verdichtung der Luft.

Versuch a. Man fertige sich nach der für den §. 101. angegebenen Weise einen Kolben und tränke ihn mit Baumöl; in einen Probircylinder, in welchen der Kolben paßt, gieße man etwas Oel, schiebe den Kolben von oben hinein und kehre die Vorrichtung um. Während man den Probircylinder mit der einen Hand hält, schiebt man den wegen des darüber befindlichen Oels luftdicht schließenden Kolben aufwärts. Dadurch wird die Luft in dem Cylinder in einen kleineren Raum zusammengedrückt und verdichtet und treibt den Kolben, wenn man ihn losläßt, wieder abwärts. Bewegt man den Kolben weiter aufwärts und preßt dadurch die Luft stärker zusammen, so fühlt man, daß sie sich mit größerer Spannkraft dem Zusammendrücken widersetzt und eine stärkere Kraft erfordert, und man sieht, daß sie den Kolben mit größerer Geschwindigkeit wieder hinabbewegt, zum Zeichen, daß ihr Bestreben, sich auszudehnen, größer geworden ist.

Fig. 127.

Versuch b. Durch Saugen mit dem Munde bringe man in eine, an beiden Enden offene, enge Glasröhre einen Wassertropfen m und verschließe die eine Oeffnung o der Glasröhre luftdicht mit einem Finger. Bläst man in die andere Oeffnung Luft, so wird in der Röhre zwischen Mund und Wassertropfen die Luft dichter. Weil sie dichter geworden ist, ist ihre Spannkraft vergrößert; sie bewegt den Tropfen m nach dem Finger o zu und drückt die Luftmenge mo auf einen kleineren



Fig. 128.

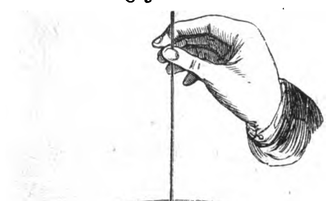
Raum zusammen. So wird auch die Luftmenge om dichter, erlangt größere Spannkraft und treibt, wenn man den Mund öffnet, den Tropfen wieder nach dem Munde zu. — Bläst man ein wenig Luft in die Röhre und läßt den Finger bei o los, so bewegt die Spannkraft der Luft zwischen Tropfen und Mund den Tropfen nur wenig. Hat man ihre Spannkraft durch Hineinblasen bedeutend vergrößert, so treibt sie den Tropfen zur Röhre hinaus.

So wird auch in der als Spielzeug bekannten und aus Hollunder oder einem Federkiel gefertigten Knallbüchse, nachdem ein luftdicht schließender Pfropfen eingetrieben ist, durch das Hineinschieben eines zweiten Pfropfens die zwischen beiden in der Röhre eingeschlossene Luft verdichtet; durch die zunehmende Verdichtung wächst ihre Spannkraft, endlich dehnt sie sich mit solcher Gewalt aus, daß sie den Pfropfen mit einem Knall hinausschleudert. Der mit Zeug umwickelte, an die inneren Wände eines Blaserohres gut anschließende Nagel wird durch die Spannkraft der Luft desto weiter fortgetrieben, je mehr Luft in die Röhre hineingeblasen, je mehr dieselbe verdichtet ist. Diese Erscheinungen führen auf das durch genaue Versuche bewiesene und nach seinem Entdecker benannte

Mariotte'sche Gesetz: Je kleiner der Raum ist, in welchen die Luft zusammengedrückt wird, desto größer wird ihre Spannkraft, und einer desto größeren (drückenden) Kraft vermag sie das Gleichgewicht zu halten.

Wird eine Luftmasse auf die Hälfte des bisher von ihr erfüllten Raumes zusammengepreßt und dadurch doppelt so dicht, so wird ihre Spannkraft doppelt so groß. Wird der Druck, der sie zusammenpreßt, doppelt so groß, so wird sie dadurch auf die Hälfte ihres früheren Raumes zusammengedrückt und erhält doppelte Dichte und Spannkraft.

Fig. 129.



§. 103. Die Taucherglocke.

Versuch. Es werde in ein mit Wasser gefülltes hohes Glasgefäß ein kleines Trinkglas oder Weinglas so hinabgedrückt, daß seine Stellung lothrecht, und seine Oeffnung unten ist. Wohl bilden das Glas und das Gefäß communicirende Gefäße. Dennoch steht das Wasser in dem Glase niedriger, als in dem hohen Gefäß; ein Stückchen Kork, das man unter das Glas bringt, und das auf der Oberfläche des darin eingedrungenen Wassers schwimmt, zeigt dies deutlich an. In dem Trinkglase ist Luft, die durch das eindringende Wasser zusammengedrückt wird, eine größere Spannkraft erhält,

den oberen Theil des Glases erfüllt und dem ferneren Eindringen der Flüssigkeit Widerstand leistet. Wie tief man auch das Glas eintauchen mag, stets wird der obere Theil mit Luft erfüllt und frei von Wasser bleiben.

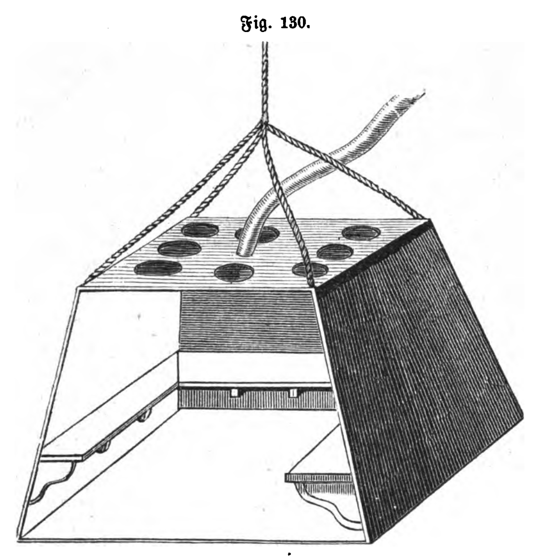
Schon den alten Griechen und Römern war es bekannt, daß Taucher, die sich im Innern eines großen Kessels ins Meer hinabließen, längere Zeit unter Wasser bleiben konnten. Zur Zeit des Kaisers Karl V. machten umherziehende Griechen durch ihre Weise, zu tauchen, großes Aufsehen; in Gegenwart des Kaisers ließen sie sich unter umfangreichen kupfernen Kesseln mit angezündeten Kerzen in den Tajo hinab und kamen nach geraumer Zeit wieder zum Vorschein, ohne daß sie naß geworden, oder die Lichter erloschen waren.

Die Kenntniß dieser unvollkommenen Versuche führte im Jahre 1716, als ein engliches Schiff versunken war, dessen Schätze man zu retten wünschte, den Engländer Edmund Halley in London zur Erfindung der Taucherglocke. Sie hatte die Gestalt einer großen, unten offenen Thurmglocke, war 2,5 M. hoch, mit Blei überzogen und, damit sie vor dem Umschlagen gesichert war, an dem unteren Rande mit Gewichten beschwert. Oben war ein starkes, gewölbtes Glas eingesetzt, durch welches das Tageslicht fallen konnte, und an die inneren Wände waren Bänke befestigt. Weil die Luft durch das Athmen der Hinabtauchenden eine Veränderung erleidet und, nach und nach untauglich zum Einathmen wird, wurden von dem Schiffe aus, an dessen Mastbaum die Glocke mittels eines starken Taues befestigt war, mit Luft gefüllte Schläuche hinabgelassen und von den Tauchern unter der Glocke geöffnet. Halley selbst tauchte mit vier anderen Personen in seiner Glocke 18 M. tief, bis auf den Meeresgrund hinab. Da nun die Kraft, mit welcher die gewöhnliche, atmosphärische Luft auf die Glocke drückt, (§. 114) gleich kommt dem Druck einer 10,3 M. hohen Wassersäule, so erleidet die in der Taucherglocke abgesperrte Luft in einer Tiefe von 10,3 M. den doppelten Druck, den des Wassers und der darüber ruhenden Luft; durch doppelten Druck wird sie auf die Hälfte ihres früheren Raumes zusammengepreßt. In einer Tiefe von 20,6 M. wird sie von einer doppelt so hohen Wassersäule und der atmosphärischen Luft, also von einer dreifachen Kraft, in den dritten Theil ihres früheren Raumes gedrängt, ist dreimal so dicht und hat dreifache Spannkraft. Daher fühlten die Taucher einen starken Druck, besonders in den Ohren. Durch Oeffnen der hinabgesandten Schläuche wußten sie alles Wasser aus der Glocke zu vertreiben, und die Helligkeit zeigte sich groß genug, um lesen zu können. Halley verweilte anderthalb Stunden unter der Glocke, und sein Unternehmen ward mit glücklichem Erfolg gekrönt.

Die neueren Taucherglocken sind aus Gußeisen und bilden einen unten offenen, viereckigen Kasten von der Gestalt einer abgestumpften Pyramide; sie haben 2 M. Höhe. In die Decke werden zwölf starke, gewölbte Fenster eingesetzt, und durch dieselbe führt ein lederner Schlauch, verschlossen durch ein Ventil (§. 83), das sich nach dem Innern der Glocke öffnet und von oben Luft hinein, aber nicht wieder hinaus läßt.

Der Schlauch führt hinauf zu dem die Glocke begleitenden Schiffe und ist hier an eine Verdichtungspumpe geschraubt (§. 104). Mittels derselben schafft die Mannschaft des Schiffes frische Luft in die Glocke, sie wird bald ganz damit erfüllt, und alles Wasser daraus vertrieben. Sind die Taucher auf dem Grunde des Wassers angekommen, so gehen sie aus der Glocke, damit sie nicht emporgehoben werden, mit Gewichten beschwert. Müssen sie Athem schöpfen, so kehren sie in die Glocke zurück. Um länger außerhalb der Glocke aushalten zu können, ziehen sie über den Kopf eine Taucherkappe, eine Metallglocke, welche vorn mit starken

Fig. 130.



Gläsern versehen und durch einen Schlauch mit der Luft in der Taucherglocke verbunden ist. Signale zum Heben oder Senken der Maschine geben die Taucher ihren Gefährten auf dem Schiffe durch Hammerschläge gegen die Glocke; andere Nachrichten schreiben sie mit Bleistift auf Holztäfelchen, die unter dem Rande der Glocke hindurchgeschoben werden und an die Wasseroberfläche emporsteigen; Nachrichten und Antworten aus dem Schiffe werden ebenfalls auf Holztäfelchen geschrieben, die an Blei befestigt sind; sie werden mit einem Ringe über eine Schnur geschoben, die vom Schiffe bis an den unteren Rand der Glocke hinabführt.

§. 104. Die Verdichtungspumpe.

Um die Luft in irgend einem Raume zu verdichten oder Luft in denselben zu schaffen, bedient man sich der Verdichtungs- oder Compressionspumpe. Sie besteht aus einem starken Metallcylinder von $2\frac{1}{2}$ Cm. Weite, der im Innern sorgfältig ausgeschliffen ist und der Stiefel der Pumpe genannt wird. Er hat oben eine Seitenöffnung b, durch welche Luft

in ihn gelangen kann; unten ist er mit einem Schraubengewinde versehen, um Gefäße, in denen die Luft verdichtet werden soll, anzuschrauben. Dieser Behälter c, welcher die verdichtete Luft aufnehmen soll, heißt der **Recipient** und ist, damit er der großen Spannkraft der zusammengedrückten Luft widerstehe und nicht zerspringe, entweder aus starkem Metall oder aus Glas und mit einem Drahtnetz umgeben. Der Recipient hat oben bei d, wo er an den Stiefel geschraubt wird, ein **Ventil**, eine Sperrklappe (§. 83), die sich nur nach unten, nach dem Innern des Recipienten, öffnet.

Fig. 131.

Drückt man den aus Filzscheiben zusammengesetzten oder aus Metall gearbeiteten **Kolben** a, der sich in dem Stiefel genau anschließend bewegen läßt, **nieder**, so öffnet sich das Ventil nach unten, und die Luft wird aus dem Stiefel in den Recipienten gepreßt. Zieht man den Kolben wieder **empor**, so schließt die Spannkraft der in den Recipienten geschafften Luft das Ventil und versperrt sich selbst den Ausweg. Der Kolben wird bis über die Seitenöffnung des Stiefels emporgezogen; durch dieselbe gelangt wieder Luft in den Stiefel, die durch Niederdrücken des Kolbens gleichfalls in den Recipienten gepreßt wird. So schafft man durch fortgesetzte Bewegung des Kolbens immer mehr Luft in den Recipienten.

Anwendung findet die Verdichtungspumpe als Zubehör einer Taucherglocke und bei Versuchen, deren Zweck ist, zu beobachten, welche Veränderungen mit verdichteten Luftarten vorgehen, die sich dann zum Theil in tropfbare Flüssigkeiten verwandeln. Man hielt früher diejenigen luftförmigen Körper, welche **Dämpfe** genannt werden, z. B. Wasserdampf, Aetherdampf, für **wesentlich** verschieden von den **Gasen,** zu denen Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure gehören. Die Dämpfe konnte man durch Druck und Abkühlung nöthigen, in den tropfbaren Zustand überzugehen, während dies bei den Gasen nicht der Fall war. Mit Hülfe der Compressionspumpe ist es aber gelungen, eine Anzahl von **Gasen** so zu comprimiren, daß sie **tropfbarflüssig** geworden sind; die Kohlensäure (§. 262. 3) läßt sich in flüssigem und in festem Zustande darstellen. Der Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen ist daher kein **wesentlicher**; die Dämpfe werden schon bei geringem Druck und geringer Abkühlung, die Gase erst bei sehr großem Druck und beträchtlicher Abkühlung tropfbarflüssig. Nur wenige Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, ist man noch nicht im Stande, tropfbarflüssig darzustellen; man nennt dieselben **permanente** Gase. Sonst diente die Verdichtungspumpe auch zum Laden der außer Gebrauch gekommenen **Windbüchsen.** Dem Aussehen nach von einer gewöhnlichen Flinte nicht verschieden, hat die Windbüchse einen hohlen Flintenkolben mit starken Metallwänden und einem Ventil, das

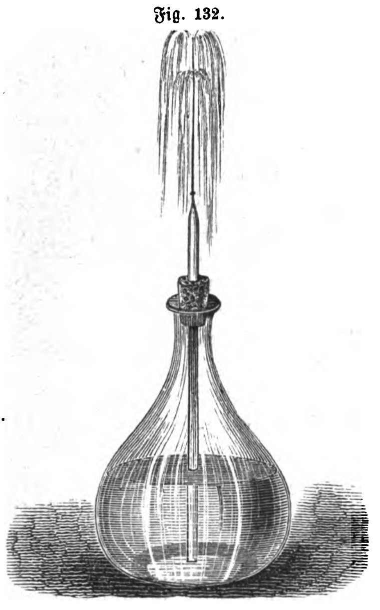
sich nach innen öffnet. Der Kolben der Büchse läßt sich von dem Flintenlauf abschrauben und an den Stiefel einer Verdichtungspumpe schrauben. Man verdichtet die Luft in ihm, setzt ihn wieder an den Flintenlauf und bringt eine Flintenkugel in den Lauf, gerade vor das Ventil. Beim Losdrücken der Büchse schlägt ein Eisenstab gegen das Ventil und öffnet es auf einen Augenblick; ein Theil der verdichteten Luft strömt aus dem Kolben und schleudert mit großer Spannkraft die Kugel hinweg. Weil die Luft in dem Kolben noch verdichtet bleibt, kann man, ohne sie von Neuem zu verdichten, nach einander mehrere Schüsse thun. — Ueber den Vorgang beim Abschießen eines mit Pulver geladenen Gewehres siehe §. 264.

§. 105. Der Heronsball.

Der griechische Mechaniker **Heron**, der im zweiten Jahrhundert vor Christo zu Alexandria lebte, hat einen Springbrunnen angegeben, aus dem das Wasser durch die Spannkraft verdichteter Luft emporgetrieben wird.

Versuch. Man wählt zu einem Medicinglase oder einer Kochflasche einen guten, luftdicht schließenden Kork. Ein guter Kork darf nicht zu hart sein und weder in die Augen fallende Poren (§. 85.) haben, noch Abweichungen von der regelrechten Gestalt zeigen. Solche Korke findet man bei denjenigen Mechanikern, welche auch chemische Apparate liefern, außerdem in den Apotheken. Damit ein Kork luftdicht schließe, muß sein dünneres Ende sich kaum in den Flaschenhals hineinschieben lassen, so daß der Kork zu dick zu sein scheint. (Sich selbst einen luftdicht schließenden Kork zu *schneiden*, erfordert Sorgfalt und Uebung; man schneidet ihn mit einem scharfen Messer, das man mehr ziehend, als drückend, bewegt, und bearbeitet ihn darauf mit Hülfe einer breiten Feile.) Der Kork wird weicher und elastischer gemacht dadurch, daß man ihn auf die Tischplatte legt und unter beständigem Umdrehen schwach mit einem Hammer klopft; nachher legt man ein glattes Brettchen auf den Kork und rollt ihn, indem man mäßig auf dasselbe drückt, hin und her. Sodann durchbohrt man den Kork mit einer Ahle (einem Pfriemen) oder einem dünnen Bohrer; die Bohrung wird erweitert und geglättet, indem man eine dünne runde Feile durch dieselbe schiebt und sie auf diese Weise ausfeilt. Soll die Bohrung noch weiter werden, so bedient man sich noch einer zweiten, dickeren runden Feile. Die Durchbohrung

Fig. 132.



hat die zweckmäßige Weite, wenn die Glasröhre, welche durchgesteckt werden soll, nachdem sie mit sehr wenig Baumöl benetzt ist, sich, streng und luftdicht anschließend, mit Reibung hindurchschieben läßt. Durch die Bohrung schiebt man eine an dem einen Ende zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhre (§. 379.), eine lange Spritzröhre. Die obere Oeffnung derselben muß recht eng sein. Die Länge der Röhre muß etwa 6 Cm. größer sein, als die Höhe der Flasche; oben ragt die Röhre eine Strecke über den Kork heraus, ihr unteres Ende reicht, wenn der Kork auf die Flasche gesetzt wird, fast bis auf den Boden derselben hinab. Muß man ein Stück von der Glasröhre abschneiden, weil sie zu lang ist, so macht man an der durchzuschneidenden Stelle mit einer dreikantigen Feile mehrere Feilstriche, nimmt die Röhre in beide Hände, stemmt die Spitzen der Daumen auf die der eingefeilten Stelle entgegengesetzte Seite der Röhre und bricht durch Bewegung der übrigen Finger die Röhre durch. Die scharfen Ränder und Unebenheiten der Bruchstelle entfernt man, indem man sie mit Wasser benetzt, schräg auf eine feine, flache Feile setzt und auf derselben, sie umdrehend, unter gelindem Druck hin und her schiebt. (Hat man eine kurze Spritzröhre, so kittet man in die weitere Oeffnung derselben eine gerade Glasröhre ein; das Kitten geschieht mit Siegellack; man erwärmt zuerst das einzukittende Ende der engeren Röhre über einer Spirituslampe und überzieht es mit Siegellack; dann erwärmt man auch die weitere Röhre und schiebt sie über die engere.)

Beim Gebrauch des Heronsballes füllt man die Flasche halb mit Wasser, setzt den Kork auf und bläst stark in die Spritzröhre. Dann steigt aus der Röhre ein Wasserstrahl empor. Durch das Blasen ist mehr Luft in die Flasche geschafft und durch das Wasser emporgestiegen. Ueber der Flüssigkeit befindet sich daher verdichtete Luft, die durch die Röhre nicht entweichen kann, weil dieselbe bis ins Wasser reicht. Wegen ihrer vergrößerten Spannkraft sucht die verdichtete Luft einen größeren Raum einzunehmen, drückt stärker auf das Wasser und nöthigt es, sich einen Ausweg zu suchen und zum Theil aus der Röhre emporzuspringen.

Fig. 133.

Will man durch Blasen mit dem Munde aus dem Heronsball einen länger dauernden Strahl erhalten, so führt man durch den Kork luftdicht eine zweite Röhre, die unten nur wenig vor dem Kork hervorragt, über dem Kork umgebogen ist und dann wagerechte Richtung annimmt. So lange man in diese Röhre bläst, springt Wasser aus der andern hervor. Eine wichtige Anwendung des Heronsballes ist der Windkessel der Feuerspritzen (§. 122).

Der Druck der atmosphärischen Luft.

§. 106. Die Schwere der Luft.

Die Luft zeigt das Bestreben, einen immer größeren Raum zu erfüllen. Vermöge ihrer Spannkraft würde sich deshalb die Atmosphäre fortwährend nach oben ausdehnen, dünner werden und sich immer weiter von der Erdoberfläche entfernen, wenn nicht irgend eine Kraft sie auf der Erde zurückhielte. Zudem dreht sich die Erde um ihre Axe; die durch die Axendrehung entstehende Centrifugalkraft (§. 61) treibt jeden Körper, der nicht von der Erde angezogen und festgehalten wird, von ihr hinweg. So wird es denn wahrscheinlich, daß, wie die festen und tropfbarflüssigen Körper, auch die Luft durch die Schwerkraft zur Erde gezogen wird. Allein die Schwere der Luft läßt sich auch geradezu beweisen.

Versuch. Eine Kochflasche von wenigstens 1 Liter Inhalt wird am Halse mit mehreren Lagen Bindfaden umwickelt, damit man die Flasche, nachdem sie stark erwärmt ist, am Halse anfassen könne. Darauf gießt man so viel Wasser in die Flasche, daß es darin fast 1 Cm. hoch steht, stellt die Flasche auf einen Dreifuß (oder klemmt sie in einen Retortenhalter, §. 232) und bringt das Wasser durch eine Spirituslampe in lebhaftes Kochen. Sobald Dampf in Menge aus der Flasche hervordringt, und der Raum über dem Wasser völlig durchsichtig ist, verschließt man die Flasche durch einen guten, genau passenden Kork, ohne die Finger in die heißen Dämpfe zu bringen, stellt die Flasche auf mehrere Lagen Papier und läßt sie sich abkühlen. Durch die Dämpfe ist fast alle Luft aus der Kochflasche gedrängt worden, und dieselbe ist fast luftleer. Man stellt sie nun auf eine Schale einer empfindlichen Wage oder hängt sie an einen leicht beweglichen Wagebalken (§. 12. I.) und stellt durch Gewichte das Gleichgewicht her. Darauf lüftet man zuerst den Kork ein wenig, wobei man die Luft mit Zischen in die Flasche eindringen hört; dann zieht man ihn ganz heraus, damit die Flasche sich ganz mit Luft fülle, und setzt den Kork wieder auf. Stellt man jetzt die mit Luft gefüllte Kochflasche auf die eine Schale der Wage, so erlangt dieselbe das Uebergewicht über die in der andern Schale befindlichen Gewichte. Voll Luft wiegt daher die Flasche mehr, als wenn sie luftleer ist. Die Luft ist daher schwer und hat Gewicht. Wie groß dasselbe ist, läßt sich mit Hülfe eines Barometers (§. 119. 2.) oder einer Luftpumpe (§. 124. 2.) ermitteln.

§. 107. Der Druck der Luft als Wirkung ihrer Schwere.

Wird die Luft von der Erde angezogen, so muß sie auch von obenher einen Druck auf die Körper ausüben.

Versuch a. Man stelle sich einen Kolben für einen Probircylinder her, indem man ein Holzstäbchen an seinem einen Ende mit Flachs um=

wickelt. Den Cylinder fülle man zum dritten Theil mit Baumöl und schiebe den Kolben langsam hinein, bis er in das Oel eintaucht. Da der Flachs Zwischenräume hat, so ist durch dieselben die Luft unter dem Kolben entwichen, und nur Oel befindet sich noch unter ihm. Damit er luftdicht werde, gieße man von oben etwas Oel auf, das den Kolben tränkt und theilweise über ihm stehen bleibt. Sodann ziehe man unter freiem Himmel den Kolben zwei Cm. weit hinauf, wodurch unter ihm ein luftleerer Raum entsteht. Die Hand fühlt, daß ein beträchtlicher Druck auf dem Kolben lastet. Läßt man ihn los, so wird er mit merklicher Kraft wieder abwärts bewegt. Weil der Versuch im Freien angestellt ist, drückt auf den Kolben das Gewicht einer Luftsäule, die aufwärts bis an die Grenze der Atmosphäre reicht und ungefähr 10 Meilen hoch ist.

Fig. 134.

Versuch b. Um einigermaßen den durch die Schwere der Luft hervorgebrachten Druck seiner Größe nach schätzen zu können, binde man oben an den im Cylinder befindlichen Kolben eine Schnur und lasse sie über eine Rolle laufen, die man wie in §. 22 befestigt oder in der einen Hand halten kann. An das freie Ende der Schnur wird an drei Schnüren eine Wageschale oder eine Schachtel gehängt. Man lege Gewichte hinein, halte mit der linken Hand den Probircylinder fest und mit der rechten die Rolle. Im Freien drückt die Schwere der Luft den Kolben, unter dem keine Luft vorhanden ist, hinab, während die Gewichte an der Schnur ihn emporzuziehen suchen. Je größer der Kolben ist, desto mehr Gewichte muß man in die Schale legen, um den Kolben hinaufzubewegen, nach der Weite des Probircylinders $\frac{1}{2}$ bis 2 Klgr. Etwas geringer ist der Luftdruck auf den Kolben.

Fig. 135.

§. 108. Der Druck der Luft nach allen Richtungen.

Versuch a. und b. Nachdem man langsam und vorsichtig den Kolben, unter welchen Luft gelangt ist, wieder hinab bewegt hat, so daß unter ihm in dem Probircylinder keine Luft mehr vorhanden ist, wiederhole man die beiden vorhergehenden Versuche im Zimmer. Sie fallen durchaus ebenso aus, wie im Freien. Dieser Erfolg ist überraschend; denn im Zimmer lastet auf dem Kolben nur eine Luftsäule, die bis zur Decke reicht und im Vergleich zur meilenhohen Atmosphäre höchst niedrig ist.

Versuch c. Mit der einen Hand halte man den Kolben, unter dem sich keine Luft befindet, fest und ziehe mit der andern den Probircylinder abwärts. Man fühlt, daß derselbe Druck den Probircylinder aufwärts zu treiben sucht, und wenn man ihn losläßt, wird er gegen die Richtung der Schwere mit merklicher Kraft aufwärts bewegt. Der Luftdruck wirkt folglich auch nach oben.

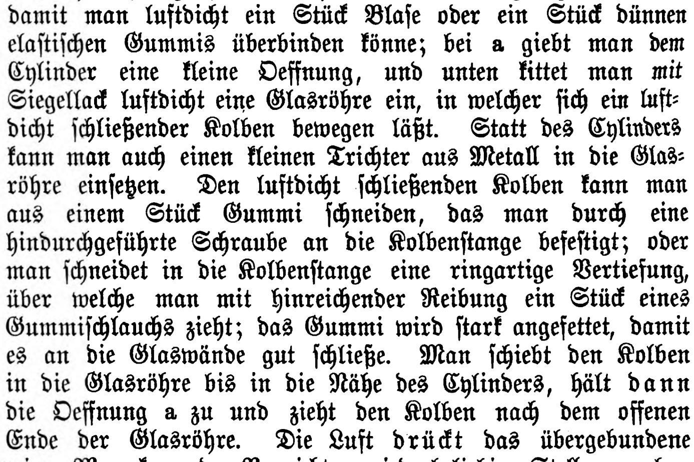
Versuch d. In einer Schnur werde eine Schleife gebildet, enger, als der Probircylinder. Sie wird von oben über den Stiel des Kolbens

geschoben, ruht auf der Oeffnung des Cylinders, und ihre Enden hängen zu beiden Seiten hinab. Sie werden zusammengeknüpft, und daran, wie bei Versuch b, eine Wageschale oder Schachtel gehängt. Thut man Gewichte hinein, oder hält man mit der einen Hand den Kolben, so drückt die Luft den Cylinder nach oben, und die Gewichte ziehen ihn hinab, so daß man ihn bei ihrem Uebergewicht mit der andern Hand auffangen muß. Man wird finden, daß gerade ebenso viel Gewichte nöthig sind, den Cylinder nach unten von dem Kolben loszureißen, als bei den früheren Versuchen erfordert wurden, den Kolben nach oben hin loszureißen, oder daß der Druck der Luft nach oben ebenso groß ist, als der nach unten.

Versuch e. Wenn der Kolben gut anschließt, halte man den Cylinder wagerecht und ziehe den Kolben nach der rechten Seite; derselbe von rechts her wirkende Luftdruck wird ihn zurückbewegen. Endlich halte man den Cylinder mit seiner Oeffnung nach der linken Seite oder in schräger Richtung; von allen Seiten wird sich gegen den luftleeren Raum der gleiche Luftdruck wirksam zeigen.

Versuch f. Man läßt sich einen 4 Cm. weiten, noch kürzern Cylinder aus Blech anfertigen; oben erhält er einen umgebogenen Rand, damit man luftdicht ein Stück Blase oder ein Stück dünnen elastischen Gummis überbinden könne; bei a giebt man dem Cylinder eine kleine Oeffnung, und unten kittet man mit Siegellack luftdicht eine Glasröhre ein, in welcher sich ein luftdicht schließender Kolben bewegen läßt. Statt des Cylinders kann man auch einen kleinen Trichter aus Metall in die Glasröhre einsetzen. Den luftdicht schließenden Kolben kann man aus einem Stück Gummi schneiden, das man durch eine hindurchgeführte Schraube an die Kolbenstange befestigt; oder man schneidet in die Kolbenstange eine ringartige Vertiefung, über welche man mit hinreichender Reibung ein Stück eines Gummischlauchs zieht; das Gummi wird stark angefettet, damit es an die Glaswände gut schließe. Man schiebt den Kolben in die Glasröhre bis in die Nähe des Cylinders, hält dann die Oeffnung a zu und zieht den Kolben nach dem offenen Ende der Glasröhre. Die Luft drückt das übergebundene Gummi hinein. Man kann der Vorrichtung jede beliebige Stellung geben und so sich überzeugen, daß der Druck der Atmosphäre in jeder Richtung wirksam ist.

Fig. 136.



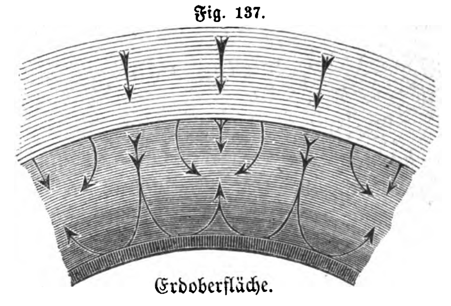
Glasdurchbohren. Da Lampencylinder mit vorstehendem Rande heutzutage leicht zu haben sind, kann man sich aus einem solchen Cylinder die Vorrichtung herstellen, indem man von der Seite her eine Oeffnung in das Glas bohrt. Um Glas zu durchbohren, bedient man sich einer runden Feile, deren Spitze man mittels einer Zange abgebrochen hat. Den dadurch entstandenen scharfen Rand der Feile setzt man schräg auf das Glas, faßt die Feile so kurz, daß die Spitze des Daumens neben der zu durchbohrenden Stelle das Glas berührt, und bewegt die Feile hin und her. Dabei benetzt man die Bohrung wiederholt mit wenig

Wasser oder Petroleum. Ist der Rand der Feile stumpf geworden, so bricht man mit der Zange wieder ein kurzes Stückchen ab. Je tiefer die Bohrung geworden ist, desto vorsichtiger und mit desto geringerem Drucke muß man arbeiten. Ist die Oeffnung so groß, daß man eine runde Feile eine kurze Strecke hindurchschieben kann, so dreht man die benetzte Feile, indem man ihren hölzernen Griff faßt, vorsichtig hinein, um die Oeffnung zu erweitern. Man darf die Feile dabei nur nach links drehen, das heißt in der Richtung, welche der Richtung eines sich bewegenden Uhrzeigers entgegengesetzt ist, weil sonst das Glas gesprengt wird.

§. 109. Der Druck der Luft als Wirkung der durch ihre Schwere hervorgebrachten Spannkraft.

Die eben beobachteten Erscheinungen des Luftdrucks sind eine Folge der durch die Schwere der Luft hervorgebrachten Spannkraft derselben. Das Gewicht der obersten Luftschicht lastet auf der zunächst unter ihr liegenden, und das Gewicht beider auf den folgenden niedrigeren. Die unteren Luftschichten werden somit durch die Schwere der höheren Schichten zusammengedrückt und sind dichter, als die oberen, wie es die beim Bergsteigen und beim Aufsteigen in Luftballons gemachten Beobachtungen bestätigen. Auf der untersten Luftschicht, in der wir leben, lastet das ganze Gewicht, der ganze Druck aller übrigen. Daher ist die unterste Luftschicht am meisten zusammengedrückt und unter allen von der größten Spannkraft.

Fig. 137.



Versuch. Man schiebt in einen Gummiballon luftdicht einen Kork und durch denselben genau schließend eine enge Glasröhre, in der sich ein Tropfen Wasser oder Quecksilber befindet. In welcher Richtung man auch auf den Gummiballon und die abgesperrte Luftmenge drücken möge, der Druck pflanzt sich bis zu dem Tropfen fort und bewegt denselben. Jeder auf eine Luftmenge ausgeübte Druck verbreitet sich in ihr nach allen Richtungen.

Von obenher gedrückt, drängt jedes Lufttheilchen gegen die übrigen nach jeder Richtung und bewegt sie nach der Seite, wo gar kein Lufttheilchen oder doch Lufttheilchen von geringerer Spannkraft Widerstand leisten. Sie dringen in lockere Steine und in die Erdarten, in Pflanzen und lebende Wesen, selbst zwischen die Theile tropfbarflüssiger Körper ein. Der Luftdruck ist mithin entweder eine unmittelbare Wirkung von der Schwere der Luft, oder eine Wirkung ihrer durch die Schwere der höheren Luftschichten hervorgebrachten Spannkraft.

Im Freien drückt die Spannkraft der untersten Luftschicht nach allen Seiten, auch nach oben, ebenso stark, als das Gewicht der über uns liegenden Atmosphäre abwärts drückt, sonst müßte diese sinken. Die Spannkraft unserer Luft ist daher dem Gewicht der darüber liegenden Luftmasse gleich. Die Luft in unserem Zimmer hat dieselbe Spannkraft, wie die im Freien; sonst würden von außen die gepreßten Lufttheilchen sich sogleich ins Zimmer drängen, bis die Luft darin gleiche Dichte und Spannkraft hätte und der Spannkraft der eindringenden gleichen Widerstand leistete. Haben wir durch Emporziehen eines Kolbens einen luftleeren Raum unter demselben hervorgebracht, so drückt die Luft dagegen mit ihrer vollen Spannkraft; und von unten her tritt ihr gar kein Widerstand entgegen. Befindet sich unter dem Kolben wenig Luft, und wir gestatten ihr durch Emporziehen desselben, sich in einen größeren Raum auszudehnen, so bringen wir einen luftverdünnten Raum hervor, die abgesperrte Luft ist dünner geworden und hat an Spannkraft verloren, die umgebende Luft wirkt dann mit dem Ueberschuß ihrer Spannkraft. Der Luftdruck zeigt sich daher gegen jeden luftleeren oder luftverdünnten Raum wirksam.

§. 110. Vom Luftdruck getragene Wassersäulen.

Versuch a. In ein mit Wasser gefülltes Becken wird ein Trinkglas oder ein Probircylinder in horizontaler Lage getaucht, das Wasser stehe noch über dem Glase, und es fülle sich ganz damit. Während seine Oeffnung unter der Wasseroberfläche bleibt, richte man es empor, gebe ihm lothrechte Stellung und hebe es so hoch, als möglich ist, ohne seine Oeffnung über den Wasserspiegel zu bringen. Das ganze Glas wird mit Wasser gefüllt bleiben; die Flüssigkeit im Becken steht weit niedriger, und doch bilden Glas und Becken communicirende Gefäße, in denen nach §. 81 dieselbe Flüssigkeit gleich hoch stehen sollte. Allein in den beiden Gefäßen ist nicht bloß eine und dieselbe Flüssigkeit, im Trinkglase ist Wasser und fast keine Luft, im Becken ist Wasser und darüber Luft, die mit voller Spannkraft die Wasseroberfläche niederdrückt. Der auf die Flüssigkeit ausgeübte Druck wird in derselben nach §. 77 nach allen Seiten, auch nach oben, fortgeleitet. Nach den andern Seiten erleiden ihn die Wände des Beckens, nach oben die Wassersäule in dem luftleeren Glase, die so von dem durch das Wasser fortgeleiteten Luftdruck getragen wird.

Fig. 138.



Versuch b. Ein Trinkglas oder Weinglas wird ganz mit Wasser gefüllt. Oben auf das volle Glas drücke man ein Stück Schreibpapier oder Kartenpappe; es bedecke die ganze Oeffnung und schließe ringsum

gut an. Man lege die linke Hand darauf, kehre mit der rechten das Glas um und lasse behutsam die linke Hand los. Die mit Papier bedeckte Oeffnung ist unten, und dennoch fließt kein Wasser aus dem Glase. Da es luftleer ist, so wirkt der Luftdruck nach oben gegen das Papier und trägt das Wasser. Wäre das Papier nicht angewandt, so würde die Luft ihre Spannkraft dadurch zeigen, daß sie längs der inneren Wände in das Glas eindränge und das Wasser vertriebe.

Fig. 139.

Versuch c. Ist die untere Oeffnung eines mit Wasser gefüllten Gefäßes eng, so bietet sie der Luft zu wenig Raum, um sich zwischen den Flüssigkeitstheilchen und den Gefäßwänden hinaufzudrängen, und die Flüssigkeit wird durch den Luftdruck getragen, ohne daß die Oeffnung mit Papier bedeckt wird.

Man fülle eine gerade Gasleitungsröhre ganz mit Wasser und verschließe ihre obere Oeffnung luftdicht mit einem Finger; dann wird alles Wasser in der Röhre bleiben, da der Luftdruck nach oben wirksam ist. Läßt man jedoch den verschließenden Finger los, so fließt das Wasser sogleich aus; der Luftdruck, welcher von oben ebenso stark, wie von unten her, wirkt, kommt dann nicht weiter in Betracht, sondern nur die Schwere der Flüssigkeit. Hat man daher Röhren von nicht zu großer Weite und von den in der Zeichnung dargestellten Formen, so kann man alle mit Wasser füllen und, indem man sie oben mit dem Finger verschließt, den Ausfluß des Wassers hindern. Der Luftdruck zeigt sich dabei in allen Richtungen thätig. So fließt auch aus einem vollen Fasse durch den Hahn nichts aus, so lange das Spundloch verschlossen bleibt.

Fig. 140.

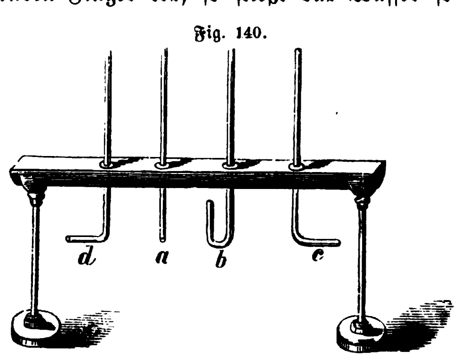


Fig. 141.

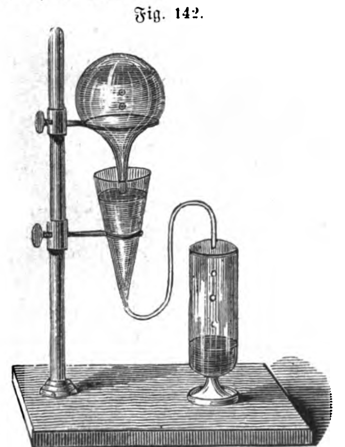
Versuch d. Eine enge, an beiden Enden offene Glasröhre wird zum Theil in ein Trinkglas mit Wasser getaucht. Es stellt sich in ihr das Wasser so hoch, als es in dem Glase steht. Verschließt man die obere Oeffnung mit einem Finger und hebt die Röhre aus der Flüssigkeit heraus, so sinkt das Wasser in ihr erst ein wenig hinab; in der Röhre befindet sich Luft von gewöhnlicher Spannkraft und eine Wassersäule, außerhalb der Röhre nur Luft von derselben Spannkraft; das Wasser wird daher durch seine

Schwere ein wenig hinabbewegt. Dadurch wird aber ein Raum für die oben in der Röhre abgesperrte Luftmasse frei, sie dehnt sich aus, wird dünner und verliert an Spannkraft. Nach diesem Vorgange vermag der Druck der atmosphärischen Luft der verringerten Spannkraft der abgesperrten Luftmasse sammt der Schwere der Wassersäule das Gleichgewicht zu halten, und hinfort fließt kein Wasser aus der Röhre.

§. 111. Durch den Luftdruck gehemmter und regulirter Ausfluß einer Flüssigkeit.

Versuch a. Man fülle eine Weinflasche oder eine Medicinflasche mit engem Halse zum größten Theil mit Wasser, kehre sie um und lasse die Flüssigkeit in irgend ein Gefäß ausfließen. Dabei ist folgende Erscheinung zu beobachten. Der Ausfluß geschieht nicht ununterbrochen, in einem zusammenhängenden Strahl, sondern er geht stoßweise vor sich; eindringende Luftblasen unterbrechen ihn und verursachen ein eigenthümliches Geräusch. Die umgekehrte Flasche enthält oben Luft von der gewöhnlichen Spannkraft und Wasser; gegen dasselbe drückt zwar von außen die atmosphärische Luft, aber es wird von obenher durch Luft von ebenso großer Spannkraft gedrängt und fließt wegen seiner Schwere zum Theil aus. Dadurch wird die Luft in der Flasche in einen größeren Raum ausgedehnt und verliert an Spannkraft. Der atmosphärische Druck vermag derselben und dem Gewicht des Wassers Widerstand zu leisten, hemmt den Ausfluß und treibt, da die Oeffnung weit genug ist, Lufttheilchen in den Hals der Flasche, welche emporsteigen und die Spannkraft der abgesperrten Luftmenge wieder herstellen. Wiederum beginnt der Ausfluß, und abermals wird er, wann die abgesperrte Luft dadurch wieder verdünnt ist, durch eindringende, von dem bekannten Glucken begleitete Luftblasen unterbrochen. In solcher Weise wiederholt sich mit wechselndem Siege der Kampf zwischen dem atmosphärischen Druck, der Schwere des Wassers und der verringerten oder wiederhergestellten Spannkraft der eingeschlossenen Luftmasse.

Fig. 142.



Versuch b. Nachdem man eine Flasche, deren Oeffnung sich mit dem Finger verschließen läßt, fast ganz mit Wasser gefüllt hat, gieße man Wasser in einen Trichter, den man aufrecht hält und unten mit dem Daumen verschließt. Darauf fasse man mit der andern Hand die Flasche, halte ihre Mündung zu und bringe dieselbe unter die Oberfläche der Flüssigkeit im Trichter. Zieht man den Finger von der Mündung der Flasche weg, so fließt aus ihr äußerst wenig in den Trichter, gerade so

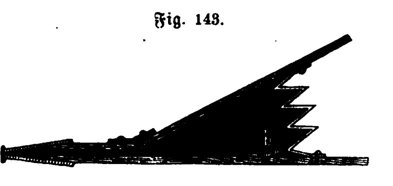
viel, bis das Gewicht des Wassers und die Spannkraft der Luft in der Flasche zusammen dem Druck der atmosphärischen Luft gleich geworden sind. Nur in dem Falle kann mehr Wasser aus der Flasche treten, wenn ihre Oeffnung nicht mehr vom Wasser versperrt wird, und sich Luft hindurchdrängen kann. Man lasse deshalb etwas Wasser aus dem Trichter ausfließen, die Mündung der Flasche wird frei, es steigen Luftblasen darin empor, und es fließt so lange Wasser aus der Flasche, bis es ihre Oeffnung wieder versperrt, und das Wasser im Trichter ebenso hoch steht, als zuvor. So erfolgt aus der Flasche ein Zufluß, durch welchen der Flüssigkeitsspiegel im Trichter in gleicher Höhe erhalten wird.

Bequemer läßt sich der Versuch anstellen, und der Vorgang beobachten, wenn man nach der Zeichnung die Röhre des Trichters S-förmig biegt oder unten in denselben eine S-förmige enge Röhre einsetzt, deren höchster Punkt nicht ganz so hoch liegen darf, wie der Wasserspiegel im Trichter. Eine solche Vorrichtung, um das Niveau (die Oberfläche) einer Flüssigkeit in einem Behälter längere Zeit in derselben Höhe zu erhalten, heißt ein Niveauhalter.

§. 112. Der Blasebalg und das Athmen.

Der zum Anfachen des Feuers angewandte Blasebalg bildet einen von Holz und Leder umschlossenen Raum, der sich durch Auseinanderziehen der Lederfalten vergrößern und durch Zusammendrücken verkleinern läßt. Derselbe verengt sich an der Spitze des Blasebalges zu einer offnen Metallröhre, welche Düse genannt wird. Einer der hölzernen Deckel ist durchbohrt und durch ein Ventil verschlossen, das sich nur nach innen öffnet. Beim Auseinanderziehen wird der innere Raum vergrößert, und die Luft darin ausgedehnt; durch die Röhre und das Ventil dringt von außen Luft hinein. Durch das Zusammendrücken des Blasebalgs wird der innere Raum verkleinert, und die Luft verdichtet; vermöge ihrer vergrößerten Spannkraft schließt sie das Ventil und dehnt sich, zur Röhre ausströmend, aus, bis sie nur dieselbe Dichte hat, wie die sie umgebende Luft.

Fig. 143.



Beim Athmen erweitern wir die Brusthöhle und dehnen die darin befindliche Luft aus; die atmosphärische Luft besitzt eine größere Spannkraft und strömt durch die Luftröhre ein. Beim Ausathmen wird die Brusthöhle verkleinert, und die darin zusammengepreßte Luft genöthigt auszuströmen.

§. 113. Das Saugen.

Versuch a. Man tauche eine gerade Röhre mit dem unteren Ende in Wasser und sauge an dem oberen mit dem Munde; das Wasser wird

in der Röhre emporsteigen. Durch Erweiterung der Brusthöhle verdünnen wir beim Saugen die in den Lungen, dem Munde und der Röhre enthaltene Luft, und die Wirksamkeit des atmosphärischen Drucks treibt das Wasser in den luftverdünnten Raum.

Beim Trinken wird gleichfalls die Luft im Munde verdünnt, und die Flüssigkeit durch den Luftdruck in denselben getrieben. Das Trinken aus einer Flasche erfordert deshalb, daß der Mund nicht die ganze Oeffnung der Flasche verschließe, weil sonst die Luft in der Flasche bald mehr verdünnt wird, als die im Munde; vielmehr muß die äußere Luft auf die Flüssigkeit wirken, in die Flasche gelangen und der darin eingeschlossenen Luft ihre natürliche Spannkraft wiedergeben und erhalten können. Auch beim Tabakrauchen wird die Luft in der Pfeife oder Cigarre und dem Munde verdünnt, und der Rauch durch den atmospärischen Druck in den Mund gedrängt, wenn die Theile der Pfeife gut an einander schließen, und die Umhüllung der Cigarre luftdicht ist.

Versuch b. Man fertige sich aus einem Stäbchen und mit Wasser angefeuchtetem Flachs einen Kolben, der luftdicht in eine Chlorcalciumröhre oder einen Probircylinder paßt, dessen verschlossenes Ende man abgeschnitten hat, indem man ihn mit einer dreikantigen Feile ringsherum durchfeilt. Taucht man die untere Oeffnung der Röhre in Wasser, während der Kolben sich derselben nahe befindet, und zieht ihn dann empor, so bringt man, ganz wie beim Saugen mit dem Munde, einen luftverdünnten Raum hervor. Der Luftdruck treibt in denselben so viel Wasser, bis dessen Gewicht und die Spannkraft der darüber abgesperrten Luftmasse dem äußeren Druck gleichkommt. Auf diese Weise wird nicht bloß in den Handspritzen, sondern auch in allen Pumpen das Wasser zum Steigen gebracht.

§. 114. Der Torricelli'sche Versuch.

Schon im Alterthum kannte man die in Folge des Saugens eintretenden Erscheinungen und wußte, daß die tropfbaren Flüssigkeiten in die luftleeren oder luftverdünnten Räume unter dem Pumpenkolben emporsteigen. Allein die nächste Ursache dieses Vorganges hatte man nicht erforscht und begnügte sich mit der Erklärung, die Natur habe einen Abscheu vor dem leeren Raume. Da wurde im 17. Jahrhundert in dem großherzoglichen Garten zu Florenz eine ungewöhnlich hohe Pumpe angelegt, welche zur bequemen Bewässerung der Blumen auf dem platten Dache eines Gartenhauses dienen sollte. Die Pumpe war durchaus kunstgerecht eingerichtet, und auf das Anschließen des Kolbens besondere Sorgfalt gewandt. Dennoch lieferte sie zur nicht geringen Verwunderung der Pumpenmeister kein Wasser; die Flüssigkeit folgte dem Pumpenkolben beim Heraufziehen desselben nach bis zu einer Höhe von 10,3 M.; in dieser Höhe blieb sie stehen, und darüber blieb unter dem Kolben ein luftleerer Raum, der sich hätte mit Wasser füllen sollen. Der berühmte Naturforscher Galiläi, den man wegen der Ursache dieser ab-

weichenden Erscheinung befragte, gab zur Antwort, offenbar reiche der Abscheu der Natur vor dem leeren Raume nur bis zu dieser Höhe; er vermuthete aber, daß die Luft schwer ist, hielt ihr Gewicht sogar für doppelt so groß, als es wirklich ist, und rieth, zwei communicirende Röhren zu fertigen, von denen die kürzere oben offen, die längere von der Höhe jener Pumpe, oben verschlossen und luftleer sei; der Luftdruck werde in der längeren Röhre eine hohe Wassersäule tragen. Bald darauf starb er.

Fig. 144.

Sein Schüler und Nachfolger auf dem Lehrstuhle der Physik zu Florenz, Torricelli, benutzte die Andeutungen seines Lehrers auf eine folgenreiche Weise. Wenn es, so urtheilte Torricelli, der Luftdruck ist, der eine Wassersäule in den luftleeren Raum hinauftreibt und ihr Gewicht trägt, so muß er auch Säulen anderer Flüssigkeiten tragen, und dieselben werden desto geringere Höhe haben, je größer ihr Gewicht ist. Nun wiegt Quecksilber 13,5 Mal so viel, als eine gleiche Wassermenge. Wöge Quecksilber 135 Mal so viel, als eine gleiche Wassermenge, so müßte die von der Luft getragene Quecksilbersäule den 135. Theil von der Höhe der Wassersäule $= \frac{1}{135} \times 10{,}3$ M. haben. Da aber Quecksilber nur ein Zehntel so viel wiegt, und sein specifisches Gewicht 13,5 beträgt, muß die Höhe der Quecksilbersäule 10 Mal so groß sein. Die von der Luft getragene Quecksilbersäule muß $\frac{1}{135} \times 10{,}3 \times 10$ M. $= 76$ Cm. oder ungefähr 28 Pariser Zoll hoch sein.

Um die Richtigkeit seiner Ansicht zu prüfen, füllte Torricelli im Jahre 1643 eine 1 M. lange, an dem einen Ende offene, an dem andern verschlossene Glasröhre ganz mit Quecksilber. Das offene Ende wurde mit dem Finger verschlossen gehalten und in ein Gefäß mit Quecksilber getaucht. Als er den Finger hinwegzog, begann das Quecksilber in der Röhre zu sinken und blieb nach einigen Schwankungen wirklich in einer Höhe von 28 Pariser Zoll über dem Quecksilberspiegel des Gefäßes stehen. Ueber dem Quecksilber entstand oben in der Röhre ein leerer Raum, den man die Torricelli'sche Leere genannt hat. Der Luftdruck vermochte nicht so viel Quecksilber zu heben, daß es diese Leere ausfüllte. Der Druck der Luft ist also so groß, wie das Gewicht einer 28 Zoll oder 760 Mm. hohen Quecksilbersäule.

§. 115. Das gewöhnliche Barometer.

Die von Torricelli erfundene Vorrichtung bildet ein Maß für den Druck der Luft, sie ist ein **Barometer***), d. h. ein Instrument zum Messen des Luftdrucks, in seiner ursprünglichen Gestalt. Dem **gewöhnlichen Barometer** hat man eine für den Gebrauch bequemere Einrichtung gegeben. Es ist eine ungefähr 86 Cm. lange, oben zugeschmolzene Glasröhre, die unten wieder aufwärts gebogen und zu einer oben **offenen** Glaskugel erweitert ist. Die Kugel vertritt die Stelle des Gefäßes, in welches Torricelli seine Röhre eintauchte. Das Barometer ist mit Quecksilber gefüllt, und über demselben muß in der verschlossenen Röhre die Torricellische Leere auch wirklich keine Luft enthalten. Die atmosphärische Luft hat zu der Kugel Zutritt, drückt auf die Oberfläche des darin befindlichen Quecksilbers und hält der langen Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Im Freien ist es unmittelbar das Gewicht der bis an die Grenzen der Atmosphäre Meilen hoch sich erstreckenden Luftsäule, im Zimmer die dem Gewicht gleiche Spannkraft, welche durch die Höhe der Quecksilbersäule gemessen wird. Um beobachten zu können, wie hoch sich die Quecksilbersäule über die Quecksilberoberfläche der Kugel erhebt, ist der Raum vom 26. bis über den 30. Zoll nach Mm. oder nach Pariser Zollen und Linien eingetheilt. Die Theilung oder Scala ist an das Brettchen befestigt, das dem Barometer als Gestell dient. Man setzt dabei voraus, daß die Höhe der Quecksilberoberfläche in der Kugel ziemlich unverändert bleibt, und fertigt sie mindestens zehnmal so weit, als die Röhre. Sinkt das Quecksilber in der Röhre, so muß es sich in der Kugel über einen weit größeren Raum ausbreiten können und den Stand des Quecksilbers darin nur unbedeutend erhöhen. Für genauere Beobachtungen muß das Steigen und Fallen des Quecksilbers in der Kugel berücksichtigt werden.

Fig. 145.

Die Güte eines Barometers hängt vor Allem davon ab, daß sich in der Torricellischen Leere keine Luft befindet. Um zu untersuchen, ob dies der Fall sei, neigt man das Barometer vorsichtig so, daß die Quecksilbersäule bis zur höchsten Spitze der Glasröhre emporsteigt. Bleibt hier ein Raum frei, welchen das Quecksilber nicht einzunehmen im Stande ist, so ist Luft in der Torricellischen Leere und wirkt desto nachtheiliger, je größer ihre Menge ist. Hat man ein Barometer zu transportiren, so muß man es behutsam so umlegen, daß das Quecksilber in der Röhre bis oben emporsteigt, und zugleich vermeiden, daß aus der Kugel Quecksilber ausläuft; das Tragen muß so geschehen, daß das Quecksilber nicht hin und her schwankt. (§. 204.)

*) Das Wort „Barometer" ist gebildet aus den griechischen Wörtern báros, Druck, Schwere, und métron, Maß.

In der Regel ist die Quecksilberoberfläche kugelförmig gebogen; man mißt nach dem höchsten Punkt der Krümmung. Bevor man die Beobachtung anstellt, erschüttert man das Instrument, ohne es aus seiner lothrechten Stellung zu bringen, durch einige sanfte Stöße, damit das vielleicht durch Adhäsion an dem Glas aufgehaltene Quecksilber ungehindert seinen Stand einnehmen könne. Ueber die Reduction des Barometerstandes vergl. §. 353.

Fig. 146.

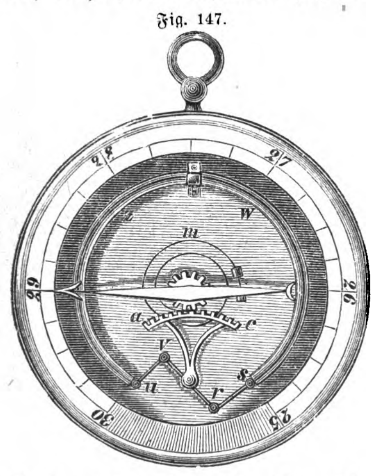
§. 116. Heberbarometer und Aneroïdbarometer.

Zu genaueren Messungen bedient man sich des **Heberbarometers,** das seinen Namen von der Aehnlichkeit seiner Gestalt mit einem aufgerichteten Saugheber führt. Es besteht aus zwei communicirenden, gleich weiten Glasröhren; die längere ist oben verschlossen, die kürzere oben offen. Zu allen genau gearbeiteten Barometern werden ziemlich, zuweilen 1 Cm., weite Röhren verwandt, und sorgfältig untersucht, ob sie auch überall von gleicher Weite sind. Das Quecksilber wird zuvor gereinigt und, nachdem der dritte Theil der Röhre gefüllt ist, in derselben über Kohlenfeuer gekocht; darauf wird erwärmtes Quecksilber zugegossen und ebenfalls gekocht; dies Verfahren setzt man fort, bis die ganze Röhre gefüllt ist. Durch das Auskochen des Quecksilbers, das mit den gewöhnlich im Handel feilgebotenen Barometern nicht vorgenommen zu werden pflegt, wird die an den inneren Röhrenwänden haftende Luft und Feuchtigkeit entfernt, und bewirkt, daß der Raum über dem Quecksilber vollkommen luftleer ist. Die Eintheilung in Zolle und Linien oder in Mm. (die Scala) ist beim Heberbarometer länger, als beim gewöhnlichen Barometer, reicht bis zum tiefsten Stand des Quecksilbers in der kurzen Röhre hinab und läßt sich nach oben und unten verschieben. Bei jedem Steigen des Quecksilbers in der längeren Röhre fällt es in der kürzeren, und es muß die Höhe der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersäule von der Oberfläche in der kürzeren Röhre an gemessen werden. Für jede Beobachtung hat man die Scala so zu verschieben, daß ihr unterster Punkt mit dem Quecksilberspiegel in der kurzen Röhre gleiche Höhe hat.

Das **Aneroïdbarometer** hat die Gestalt einer großen Taschenuhr und ist, besonders auf Reisen, sehr bequem, weil es kein Quecksilber enthält und weniger zerbrechlich ist. Es beruht darauf, daß eine aus dünnem Metallblech gearbeitete, verschlossene kreisförmige Röhre ihre Form ändert, sobald sich der Luftdruck ändert. Der äußere Umfang der kreisförmigen Röhre ist größer, als der innere; wächst

der Luftdruck, so wirkt er auswendig auf mehr Raumtheile und nähert die Enden der Röhre einander; nimmt der Luftdruck ab, so entfernen sich dieselben von einander. Die biegsame Röhre uzws füllt nicht ganz einen Kreis; sie ist überall verschlossen und nur in ihrer Mitte, zwischen z und w, an die innere Wand eines dosenförmigen Gehäuses befestigt, so daß die übrigen Theile zu und ws sich ungehindert bewegen können. Beim Abnehmen des Luftdrucks entfernen sich die Röhrenenden u und s von einander; beim Zunehmen des Luftdrucks nähern sie sich einander. Die Bewegung der Röhrenenden wird durch Hebel und gezahnte Räder auf einen Zeiger übertragen. Entfernen sich bei abnehmendem Luftdruck die Röhrenenden u und s von einander, so bewegen sie durch die metallenen Stäbchen uv und rs einen Hebel vr und einen daran befestigten gezahnten Kreisbogen ac; dieser dreht sich nach links und bewegt das Getriebe, in das er eingreift, und den daran befestigten Zeiger nach rechts. Dadurch wird eine stählerne Spiralfeder m etwas gespannt; bei zunehmendem Luftdruck dreht die Feder den Zeiger nach links, soweit die einander genäherten Röhrenenden den Stäbchen die Bewegung gestatten. Die Scala des Aneroïdbarometers fertigt man durch Vergleichung mit einem Quecksilberbarometer. Aehnlich dem Aneroïdbarometer ist das Holosterikbarometer; dasselbe unterscheidet sich von jenem hauptsächlich dadurch, daß statt der kreisförmigen Röhre eine Dose angewandt ist, welche durch einen dünnen, biegsamen Metalldeckel luftdicht verschlossen wird; bei zunehmendem Luftdruck wird der Deckel nach innen gebogen, bei abnehmendem Luftdruck nach außen.*)

Fig. 147.



§. 117. Die durch das Barometer gemessene Größe des Luftdrucks.

Ursprünglich dient das Barometer zu nichts Anderem, als zum Messen des Luftdrucks. Eine bis an die Grenze der Atmosphäre reichende Luftsäule wiegt so viel, als eine 28 Pariser Zoll oder 760 Mm. hohe Quecksilbersäule von demselben Umfang. Jede Fläche, die einen luft-

*) Der Name „Aneroïdbarometer“ kommt her von dem griechischen Worte nerós, flüssig, und bedeutet: ein Barometer, das keine Flüssigkeit enthält. Der Name „Holosterikbarometer“ ist gebildet aus den griechischen Wörtern hólos, ganz, und stereós, fest, und bedeutet: ein Barometer, das ganz aus festen Körpern besteht.

leeren Raum umschließt, erleidet daher einen Luftdruck, gleich dem Gewicht einer 760 Mm. oder 76 Cm. hohen Quecksilbersäule, welche die gedrückte Fläche zur Grundfläche hat. Und unsere ganze Atmosphäre wiegt so viel, wie eine Quecksilbermasse, welche die ganze Erdkugel mit einer 76 Cm. hohen Schicht umschlösse, oder wie eine sie umgebende Wassermasse von 10,3 M. = 103 Dm. Höhe.

Da ein Kubik-Cm. Wasser 1 Gr. wiegt, Quecksilber aber 13,59 Mal so schwer, als eine gleiche Wassermasse ist, so wiegt ein Kubik-Cm. Quecksilber 13,59 Gr. Der Luftdruck lastet auf jedem Quadrat-Cm., der einen luftleeren Raum begrenzt, mit dem Gewicht einer Quecksilbersäule von 76 Kubik-Cm., also von 76 × 13,59 = 1033 Gr. oder ungefähr 1 Klgr. Auf der Fläche von einem Quadrat-M. haben 10000 solcher Quecksilbersäulen neben einander Raum; der Luftdruck auf 1 Quadrat-M. beträgt mithin 10000 Klgr.

Der menschliche Körper hat eine Oberfläche von 1,5 Quadrat-M. und würde, wenn er ein luftleerer Raum wäre, einen Luftdruck von 10000 × 1,5 also von 15000 Klgr. auszuhalten haben. Allein in unserem Körper ist Luft eingeschlossen, welche dieselbe Dichte und Spannkraft besitzt, wie die atmosphärische Luft; daher haben Luftschiffer in sehr hohen und dünnen Luftschichten einen durch die Spannkraft der eingeschlossenen Luft verursachten Andrang des Blutes nach außen, besonders in der Nase und den Augen, empfunden. Wo aber in dem Bau des menschlichen Körpers dem Druck von außen keine Luft von innen entgegenwirkt, da würde der Luftdruck die Glieder hineinpressen, sie tragen, uns Anstrengung abnehmen und Erleichterung verschaffen. Diese Einrichtung haben wirklich die obersten Knochen von Armen und Füßen. Der Oberarmknochen endigt in einen kugelförmigen Knopf, der in die spiegelglatte, luftleere Höhlung des Schulterblattes eingelenkt ist; ebenso ist der Oberschenkelknochen eingefügt. Der Druck der äußern Luft hält dem Gewicht der Arme und Füße das Gleichgewicht, und es wird gar keine Kraft erfordert, um beim Gehen den gehobenen Fuß zu tragen. Darum empfinden Reisende beim Besteigen sehr hoher Gebirge eine auffallende Müdigkeit, weil der verminderte Luftdruck es zum Theil den Muskeln überläßt, Arme und Füße zu tragen.

§. 118. Das Barometer als Wetterglas.

Bald nach Erfindung des Barometers beobachtete man, daß an einem und demselben Orte der Stand des Quecksilbers keineswegs in einer Höhe von 760 Mm. oder 28 Zoll bleibt; sondern daß es bald steigt, bald fällt. Man glaubte zwischen diesen Veränderungen des Barometerstandes und den Veränderungen der Witterung einen Zusammenhang wahrzunehmen und zu finden, daß das Steigen des Quecksilbers gemeiniglich heiteres Wetter, das Fallen trübe Witterung anzeige. Der Gebrauch des Barometers als Wetterglas ist sogar der gewöhnlichste, und um ihn zu erleichtern, pflegen die Verfertiger neben der Scala hin-

zuzufügen, was für Wetter („Sehr schön, schön, veränderlich, Wind, Regen, Sturm") dem jedesmaligen Barometerstande entspreche. Trifft das Wetter nach diesen Bestimmungen zu, so sagen Manche, welche ein Barometer gekauft haben, ihr Barometer gehe richtig; trifft es nicht zu, so meinen sie, ihr Wetterglas gehe falsch.

Das Barometer giebt nicht die Veränderungen des Wetters, sondern die Veränderungen des Luftdrucks an; sein Steigen sagt, daß der Luftdruck größer, sein Fallen, daß der Luftdruck geringer geworden ist. Das Wetter hängt aber vornehmlich von drei Umständen ab, von der Wärme, von der Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes und von dem Luftdruck; erst aus Berücksichtigung aller drei vielfach wechselnden Verhältnisse läßt sich ein Schluß auf das bevorstehende Wetter machen. Nur bei bestimmten Winden, bei Südwest- und Nordostwind, stehen Wärme, Dampfgehalt und Luftdruck in einem wiederkehrenden Zusammenhange, der fast immer dieselben Aenderungen des Wetters hervorzubringen pflegt. Das Barometer hat in unsern Gegenden den tiefsten Stand bei Südwestwinden und zeigt an, daß der Luftdruck dann am geringsten ist. Die atmosphärische Luft und der unsichtbare Wasserdampf in derselben bringen stets beide zusammen denjenigen Luftdruck hervor, den das Barometer angiebt; wenn aber sehr reichlich Wasserdämpfe in der Luft vorhanden sind, geschieht es leicht, daß sie sich zu Wolken vereinigen und ihre Dampfform, wie ihre Spannkraft verlieren. Das Sinken des Barometers kann also darin seinen Grund haben, daß in Folge einer Wolkenbildung die Spannkraft der Dämpfe aufgehört hat. Dieser Fall tritt in der Regel bei Südwestwinden ein, die über große Meere wehen und feuchte, an Wasserdämpfen sehr reiche Luft herführen. Aus dem Fallen des Barometers schließen wir dann, daß in den oberen Luftschichten sich zahlreiche Wolken gebildet haben, und Regenwetter bevorstehe. Umgekehrt hat das Barometer den höchsten Stand bei Nordostwinden, die, aus großen Länderstrecken kommend, dichte und trockne Luft bringen. (§. 359.)

§. 119. Anwendung des Barometers zu Höhenmessungen.

1. Wenige Jahre nach Anstellung des Torricellischen Versuchs schlug der französische Gelehrte Pascal vor, sich mit einem Barometer auf die Spitze eines Berges zu begeben, wo man einen beträchtlichen Theil der Atmosphäre unter sich habe. Auf das Quecksilber drücke dort eine weniger hohe Luftsäule, und es müsse einen desto niedrigeren Stand einnehmen, je höher der Berg sei. Dieser Versuch wurde 1648 durch Pascal's Schwager, Perrier, ausgeführt. Er bestieg den über 1200 M. hohen Püy de Dome in der Auvergne, sah beim Emporsteigen das Quecksilber nach und nach fallen und fand seinen Stand auf dem Gipfel des Berges um mehrere Cm. tiefer, als am Fuße desselben. Aus dem Fallen des Barometers läßt sich auf die Höhe eines Berges schließen, den man mit demselben bestiegen hat.

Es steht das Barometer an der Erdoberfläche 760 M. hoch; ist man

10,5 M. gestiegen, so ist das Quecksilber um 1 Mm. gesunken und hat nur noch eine Höhe von 759 Mm.*) An der Meeresoberfläche ist folglich eine Luftsäule von 105 Dm. Höhe so schwer, wie eine Quecksilbersäule von der Höhe eines Mm.

2. Daraus läßt sich zunächst das Gewicht der uns umgebenden atmosphärischen Luft berechnen. Eine Luftsäule von 105 Dm. = 10500 Mm. Höhe hat bei gleichem Umfang dasselbe Gewicht, wie eine Quecksilbersäule von 1 Mm. Höhe. Die Luftsäule enthält 10500 solcher Raumtheile, deren die Quecksilbersäule nur einen enthält. Ein Raumtheil Luft wiegt daher den 10500. Theil von dem Gewicht eines Raumtheils Quecksilber. Nun wiegt 1 Kubik-Cm. Quecksilber 13,59 Gr. Folglich wiegt ein Kubik-Cm. Luft $\frac{13,59}{10500} = \frac{1359}{1050000} = \frac{1}{772}$, in runder Zahl $\frac{1}{770}$ Gr. Und da ein Kubik-Cm. Wasser 1 Gr. wiegt, beträgt das Gewicht der uns umgebenden Luft den 770. Theil von dem Gewicht einer ebenso großen Wassermenge.

3. Steigt man an dem Abhange des Berges weiter empor, so befindet man sich in einer Luftschicht, die weniger Luft über sich hat, weniger zusammengedrückt und weniger dicht ist, als die unterste. Man muß aus diesem Grunde etwas höher, als 105 Dm. steigen, damit das Quecksilber wieder um ein Mm. falle. In der dritten Schicht, innerhalb deren der Barometerstand 758 Mm. beträgt, muß man wieder etwas weiter aufsteigen, um in die vierte Schicht zu gelangen, wo das Quecksilber 757 Mm. hoch steht. So müssen die Luftschichten oder Luftsäulen, die einer Quecksilbersäule von einem Mm. das Gleichgewicht halten, je weiter man aufsteigt, desto höher sein, weil sie immer weniger dicht sind.

Wenn in der höchsten Luftschicht das Barometer nur noch ein Mm. hoch stände, so wäre sie $\frac{1}{760}$ Mal so dicht, als die unterste Schicht; die höchste Luftschicht müßte 760 Mal so hoch, als die unterste, 760 $\times$ 105 Dm. hoch sein, um einem Mm. Quecksilber das Gleichgewicht zu halten. In der neunten Schicht, in die man aufsteigend gelangt, ist der Barometerstand 752 Mm.; sie ist also 752 Mal so dicht, als die höchste Luftschicht, in welcher der Barometerstand nur 1 Mm. beträgt; sie hat daher nur den 752. Theil von der Höhe derselben $\frac{760 \times 105}{752}$, mehr, als 106 Dm. So hoch muß man schon in ihr steigen, damit das Quecksilber ein Mm. falle. Abgesehen davon, daß auch innerhalb dieser Luftschichten die Dichtigkeit der Luft nicht dieselbe bleibt, werden die Höhenmessungen dadurch schwierig und verwickelt, daß der Luftdruck auch durch die in verschiedenen Höhen verschiedene Wärme, durch Wasserdämpfe und Winde Veränderungen erleidet.

---

*) Vom Meeresspiegel aus muß man 73 Pariser Fuß steigen, damit das Quecksilber eine Linie sinke.

§. 120. Stechheber und Saugheber.

Heber nennt man offene Röhren, mittels deren man einen Theil einer Flüssigkeit aus einem Gefäße herausheben kann; den Stechheber pflegt man durch Hineinstecken in die Flüssigkeit, den Saugheber durch Saugen zu füllen.

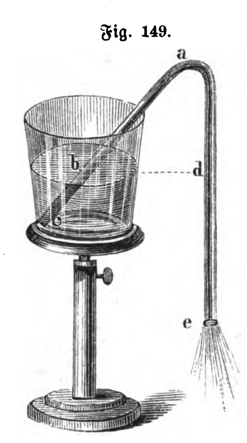
Fig. 148.

a. Der Stechheber. Der Stechheber (die Pipette) ist eine Röhre, welche unten in eine enge, offene Spitze ausläuft, weiter aufwärts sich erweitert und oben eine Oeffnung von solcher Weite hat, daß man sie bequem mit einem Finger verschließen kann. Taucht man den offnen Stechheber in eine Flüssigkeit, so stellt sich dieselbe nach dem Gesetz über communicirende Gefäße eben so hoch, als sie ringsherum in dem Gefäße steht. Wenn man dann die obere Oeffnung mit dem Daumen verschließt und den Stechheber aus der Flüssigkeit hebt, so fließen nur wenige Tropfen aus; der bei weitem größte Theil der Flüssigkeit aber bleibt im Heber. Durch Auslaufen der Tropfen ist die Luft oben in dem Heber verdünnt worden, und der äußere Luftdruck trägt nun die darin befindliche Flüssigkeitssäule. Man hält den Stechheber über das Gefäß, in welches man die herausgehobene Flüssigkeit bringen will, und entfernt den Finger, wenn sie ausfließen soll.

b. Der Saugheber.

Versuch. Man nimmt eine gebogene Gasleitungsröhre, kehrt ihre Oeffnungen nach unten und taucht die eine Oeffnung in ein Trinkglas mit Wasser. Der andere Arm der Röhre bleibt außerhalb des Trinkglases. Eine gebogene Röhre mit nach unten gekehrten Oeffnungen ist ein Saugheber. Er wird durch Saugen an dem äußeren Arm gefüllt. Man hebe zuerst den äußeren Arm der Röhre so weit empor, daß er höher liegt, als der Wasserspiegel in dem Trinkglase, und sauge mit dem Munde daran. In Folge des Luftdrucks wird das Wasser den Heber füllen, aber beim Aufhören des Saugens sogleich in das Gefäß zurückkehren. Darnach halte man den äußeren Arm weiter abwärts; er möge tiefer liegen, als der Flüssigkeitsspiegel, doch höher, als die Oeffnung des eingetauchten Armes; saugt man jetzt, so füllt das Wasser den Heber und fließt, wenn man mit Saugen aufhört, in ununterbrochenem Strahle aus dem äußeren Arme aus. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn die Oeffnung des äußeren Armes noch tiefer liegt. Ein Saugheber muß also so gehalten werden, daß der eine Arm in die Flüssigkeit eintaucht, und die Oeffnung des andern tiefer liegt, als die Oberfläche der Flüssigkeit. Reicht, wie in der Zeichnung, der ein=

Fig. 149.



getauchte Arm bis auf den Boden des Gefäßes, und liegt die Oeffnung des äußeren Armes noch tiefer, so fließt alles Wasser aus dem Gefäße. Befindet sich der eingetauchte Arm nicht mehr unter Wasser, so muß der Ausfluß aufhören. Ist der äußere Arm kürzer, als der eingetauchte, so hört der Ausfluß auf, wann die Flüssigkeit so weit gesunken ist, daß ihre Oberfläche mit der Oeffnung des äußeren Armes in einer wagerechten Linie liegt.

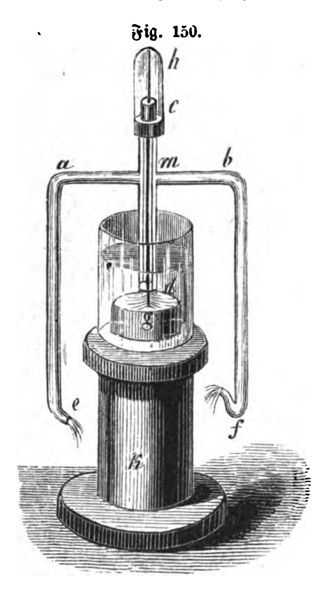
Daß das Wasser in dem Heber emporsteigt und ihn ausfüllt, ist eine Wirkung des Luftdrucks, der es in den nach dem Saugen luftverdünnten Raum treibt. Die auffallende Erscheinung jedoch, die der Saugheber darbietet, ist die des ununterbrochenen Ausfließens, nachdem das Saugen aufgehört hat. Ist der Heber gefüllt, so müßten nach dem Gesetz der Schwere die Wassersäule in dem eingetauchten Arm und die in dem äußeren sich trennen, und die erstere in das Trinkglas zurücksinken, die andere aus der Oeffnung ausfließen. Dann würde aber in dem höchsten Punkt des Hebers oder an der Stelle, wo die eine Wassersäule sich von der andern losrisse, ein leerer Raum entstehen, in welchen der Luftdruck sogleich Wasser treiben würde. Indem daher der Luftdruck, der auf die Flüssigkeit im Gefäß und gegen die Oeffnung des äußeren Armes gleich stark wirkt, die Bildung eines luftleeren Raumes hindert, hindert er auch die Trennung des einen Theils der Flüssigkeit von dem andern und gestaltet sie zu einer zusammenhängenden Flüssigkeitsmasse. So durch den Luftdruck zu einem Ganzen gestaltet, das innerhalb des Hebers nicht zerreißen kann, hängt die leicht bewegliche Wassermasse von dem höchsten Punkte des Hebers in beiden Armen herab. In dem eingetauchten Arm zieht eine kürzere Wassersäule, die von dem höchsten Punkte des Hebers bis zum Wasserspiegel des Gefäßes reicht, in dem äußeren Arme das größere Gewicht einer längern Wassersäule abwärts; die letztere hat das Uebergewicht und zieht allmählich die ganze zusammenhängende Wassermasse nach. Die bewegende Kraft ist also das Uebergewicht der Wassersäule im äußeren Arme oder die Schwere der den äußern Arm von seiner Oeffnung bis zur Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Gefäße füllenden Wassersäule. Und es geschieht nichts Anderes, als mit einem Faden geschehen würde, der mit seinem einen Ende in mehreren Windungen auf dem Tische ruht, dann aufwärts über eine Glasröhre oder eine Rolle führt und auf der andern Seite bis unter die Tischplatte hinabhängt; das längere Ende des Fadens veranlaßt, falls die Reibung nur gering ist, durch sein Uebergewicht die Bewegung und zieht den ganzen Faden nach. Zu einem zusammenhängenden Wasserfaden gestaltet der Luftdruck die Wassermasse, vorausgesetzt, daß der höchste Punkt des Hebers nicht mehr, als 10,3 M. über den Wasserspiegel des Gefäßes sich erhebt.

Wenn die Oeffnung des äußeren Arms mit dem Flüssigkeitsspiegel im Gefäß in gleicher Höhe liegt, so ist keine bewegende Kraft vorhanden, also kann auch kein Ausfluß stattfinden. Meistens arbeitet man, was indeß nicht nöthig ist, den äußeren Arm länger, als den einzutauchenden.

Angewandt wird der Saugheber in jedem Weinkeller, um die Fässer durch die obere Oeffnung zu leeren.

Der rotirende Saugheber besteht aus einem vom Klempner aus Blech gefertigten hohlen Röhrenkranz abcd, in dessen wagerechte Arme lothrecht abwärts führende Glasröhren ae und bf eingekittet sind. Die Glasröhren sind unten zu einer kurzen, wagerechten Strecke mit enger Oeffnung umgebogen, und zwar so, daß die eine Oeffnung e dem Beobachter zugewandt, die andere von ihm abgewandt ist. Ueber das obere Ende c des Röhrenkreuzes ist mit Hülfe eines durchbohrten, gut schließenden Korks ein kurzer Probircylinder geschoben. Dieser schwebt bei h auf der Spitze eines lothrecht aufgestellten Drahtes mit dem metallenen Fuße g. Der Träger gh steht in einem mit Wasser gefüllten, hohen Trinkglase, unter dem ein hölzerner Untersatz k steht. Um den doppelten Saugheber eamd und fbmd zu füllen, läßt man zuerst die Oeffnung e in ein Glas Wasser tauchen und saugt bei f; dann läßt man die Oeffnung f in Wasser tauchen und saugt bei e. Schwebt die Vorrichtung leicht beweglich genug auf der Drahtspitze bei h, so wird sie, so lange bei e und f Wasser ausfließt, in drehender Bewegung bleiben. Das Ausfließen des Wassers ist daraus zu erklären, daß eamd und fbmd zwei Saugheber sind; die drehende Bewegung hat denselben Grund, wie beim Segner'schen Wasserrade §. 77. Bei der Anfertigung ist darauf zu achten, daß die Arme ae und bf nicht zu kurz, und die Oeffnungen e und f nicht zu weit gemacht werden; die Vorrichtung kann auch ganz aus Blech gefertigt, und statt des Trinkglases ein Metallgefäß genommen werden, das unter die Oeffnungen e und f hinabreicht und mit einer communicirenden Röhre verbunden ist, damit der Wasserspiegel nicht zu schnell sinke.

Fig. 150.



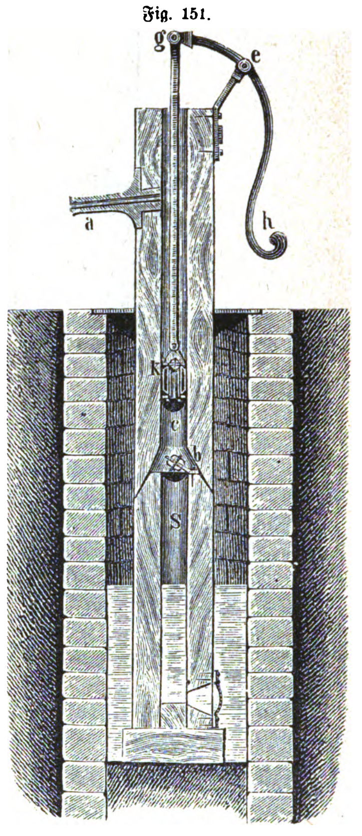
§. 121. Die Saugpumpe.

Der zuerst in die Augen fallende Bestandtheil einer gewöhnlichen Pumpe ist das Pumpenrohr mit seiner Ausgußröhre, aus der beim Pumpen das Wasser ausfließt. Unten an das Pumpenrohr ist luftdicht eine engere Röhre, das Saugrohr S, befestigt, das senkrecht in einen Wasserbehälter hinabführt. In dem Pumpenrohre läßt sich ein mit Leder umlegter, gut anschließender Kolben auf- und abbewegen; er ist in der Richtung von oben nach unten durchbohrt, und über der Bohrung liegt eine Sperrklappe, das Kolbenventil k, welches sich nur nach oben öffnet. Die eiserne Kolbenstange hängt oben an einem Hebel, dem Pumpen-

schwengel, der durch Menschenhand seine Bewegung erhält. Am Boden des Pumpenrohrs, über dem Saugrohr, ist ein zweites Ventil, das **Saugventil** b, angebracht, welches sich gleichfalls nur nach oben öffnet.

Nimmt der Kolben seine tiefste Stellung nahe dem Saugventil ein, und wird er **in die Höhe gezogen**, so wird das Kolbenventil durch den äußeren Luftdruck geschlossen, und die Luft unter ihm verdünnt. Vermöge ihrer Spannkraft dehnt sich zugleich die Luft in dem Saugrohr aus, öffnet sich das Saugventil und dringt in den luftverdünnten Raum unter dem Kolben. Dadurch ist auch die Luft in dem Saugrohr verdünnt, ihre Spannkraft ist geringer geworden, als die der auf dem Wasserspiegel lastenden Luft, und durch den äußeren Luftdruck getrieben, beginnt das Wasser in dem Saugrohr emporzusteigen. Beim darauf folgenden **Niedergang** des Kolbens wird die unter ihm befindliche Luft in einen kleineren Raum zusammengedrückt, schließt das Saugventil und dringt theilweise durch das Kolbenventil hinaus. Bei dem **zweiten Emporziehen** des Kolbens dringt wieder Luft aus dem Saugrohr unter ihn und wird noch mehr verdünnt, so daß das Wasser steigt. Nach **mehreren Kolbenstößen** ist endlich die Luft unter dem Kolben in solchem Maße verdünnt, daß der atmosphärische Druck das Wasser durch das Saugventil treibt; der niedergehende Kolben taucht dann ins Wasser, und alle Luft unter dem Kolben wird entfernt. Jetzt ist die Pumpe im Gange. Bei **jedem Niedergang** dringt fortan, während die Schwere des Wassers das Saugventil geschlossen hält, eine Menge Wasser durch das Kolbenventil. Beim **Emporziehen** schließ das über den Kolben gelangte Wasser dessen Ventil, wird mit ihm emporgehoben und fließt zum größten Theil zur Ausgußröhre heraus. Soll die umpe Wasser liefern, so muß der Luftdruck das Wasser bis unter das Kolbenventil treiben können; dasselbe dürfte, wenn die Pumpe einen luftleeren Raum hervorbrächte, zum höchsten 10,3 M. über dem Wasserspiegel im Brunnen liegen; da sie aber wegen der Unvollkommenheiten der Arbeit nur einen luftverdünnten Raum herstellt, bringt man das Kolbenventil höchstens 7,5 M. über dem Wasserspiegel an.

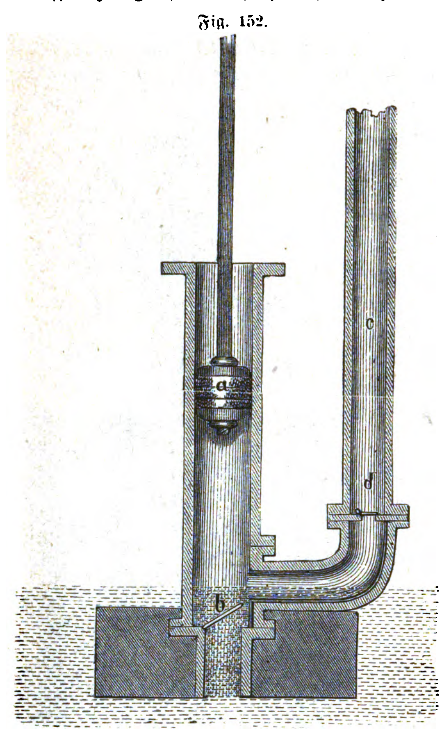
Fig. 151.



§. 122. Die Druckpumpe und die Feuerspritze.

a. Die Druckpumpe. Die Druckpumpe wird angewandt, um das Wasser zu größeren Höhen hinaufzudrücken. Sie unterscheidet sich von der gewöhnlichen Pumpe 1) dadurch, daß der Kolben der Druckpumpe nicht durchbohrt, sondern massiv ist. 2) Statt der Ausgußröhre führt aus dem unteren Theil des Pumpenrohrs eine Steigröhre, die nach oben umbiegt und zu der Höhe führt, auf welche das Wasser geschafft werden soll. 3) In der Steigröhre befindet sich ein Druckventil, das sich nur nach außen öffnet.

Fig. 152.

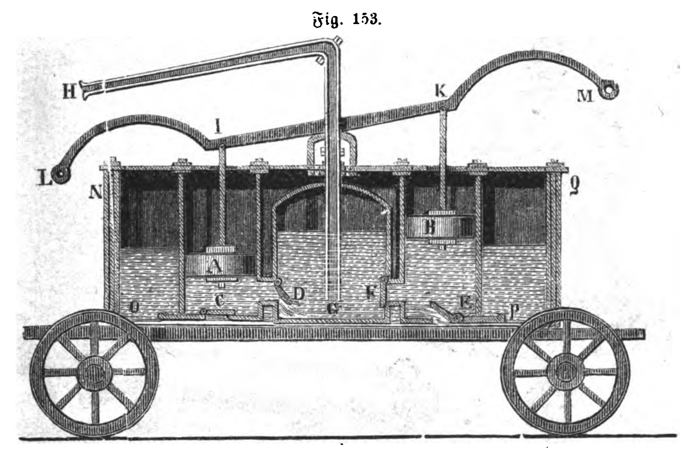


Indem das Druckventil beim Emporgehen des Kolbens sich schließt, wird unter ihm ein luftverdünnter Raum hervorgebracht, in welchen das Wasser durch das sich öffnende Saugventil durch den Luftdruck gedrängt wird. Beim Niedergang des Kolbens schließt sich das Saugventil wegen der Schwere des Wassers und des darauf ausgeübten Druckes, und das Wasser wird durch das sich öffnende Druckventil in die Steigröhre gedrückt, aus welcher es nicht wieder in das Pumpenrohr zurückkehren kann.

b. Die Feuerspritze. Die Feuerspritze besteht aus zwei Druckpumpen, welche Wasser in einen Heronsball schaffen. Die beiden Druckpumpen sind aus Metall gearbeitet und stehen in dem mit Wasser gefüllten Spritzenkasten, der Wasserlade. Die eisernen Pumpenstangen, an deren unteres Ende die massiven Kolben A und B befestigt sind, werden mittels eines eisernen zweiarmigen Hebels, der Druckstange LM, auf- und niederbewegt. Zwischen beiden Druckpumpen ist ein weiter, ringsum verschlossener Cylinder aufgestellt; er hat die Einrichtung des Heronsballes und enthält eine offene Röhre GH, die fast bis auf seinen unteren Boden hinabreicht und durch den oberen Boden hinausführt. Dieser Heronsball der Feuerspritze wird der Windkessel genannt. Die Ausflußröhren beider Druckpumpen münden in den Windkessel und sind mit Druckventilen D und F versehen, die sich nach dem Inneren des Windkessels öffnen. Beim Aufsteigen eines Kolbens wird das Druck-

ventil durch die Spannkraft der im Windkessel befindlichen Luft geschlossen, und aus dem Spritzenkasten dringt Wasser durch das Saugventil der Druckpumpe. Beim Niedergehen des Kolbens wird durch die Schwere des Wassers und den Druck, den es erleidet, das Saugventil geschlossen, und das Wasser durch das Druckventil in den Windkessel gepreßt. Bald verschließt es die Oeffnung der in denselben hinabreichenden Röhre und versperrt der Luft den Ausweg; indem bei fortgesetztem Pumpen das

Fig. 153.



Wasser im Windkessel steigt, wird die darüber befindliche Luft auf einen engeren Raum beschränkt und verdichtet, und durch die Spannkraft der verdichteten Luft wird aus der Röhre des Windkessels ein Wasserstrahl emporgeschleudert. Die Wirkung des Windkessels besteht darin, daß das Wasser nicht stoßweise, beim Niedergange der Kolben, sondern in einem zusammenhängenden Strahl hervorgetrieben wird. An die Röhre des Windkessels oder, wenn diese fehlt, an eine über dem unteren Boden des Windkessels angebrachte Seitenöffnung wird ein Spritzenschlauch geschraubt, um durch Biegen desselben die Richtung des Wasserstrahles zweckmäßig ändern zu können.

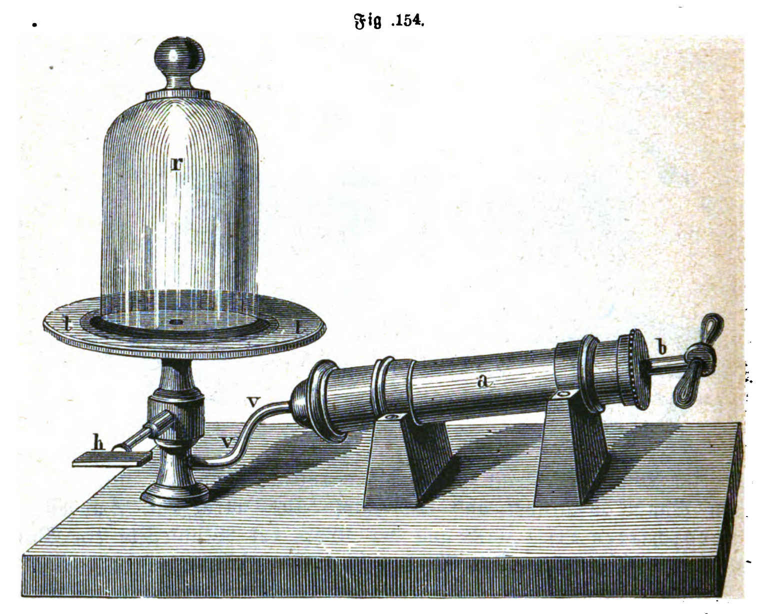
§. 123. Die Luftpumpe.

Zur Verdünnung der Luft in irgend einem Gefäße und zur Bestätigung der über die Spannkraft und den Druck der Luft aufgefundenen Gesetze dient die Luftpumpe, welche im Jahre 1650 durch Otto von Guerike erfunden worden ist. Nach der Verschiedenheit ihres Baues unterscheidet man Hahnluftpumpen und Ventilluftpumpen.

Die Hahnluftpumpe. Der erste Haupttheil einer jeden Luftpumpe ist das inwendig sorgfältig ausgeschliffene, aus Messing gearbeitete Pumpenrohr a, welches der Stiefel der Luftpumpe genannt wird. In demselben läßt sich ein luftdicht schließender Kolben, der bei den Hahnluftpumpen

massiv, nicht durchbohrt ist, bewegen. Aus dem untersten Theile des Stiefels führt eine enge Röhre, die Verbindungsröhre v, durch eine wagerechte metallene Scheibe t hindurch, welche der Teller der Luftpumpe heißt. Das Gefäß, aus welchem Luft gepumpt werden soll, wird der Recipient r genannt. Er ist meistens eine Glasglocke, welche unten offen und gut abgeschliffen ist, damit sie an den Teller, auf den sie gesetzt wird, genau anschließe. Durch die Verbindungsröhre kann die Luft aus

Fig. 154.

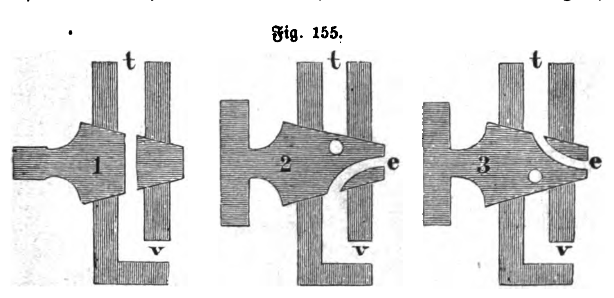


dem Recipienten bis unter den Kolben gelangen, wenn die Stellung des doppelt durchbohrten Senguerd'schen Hahnes es gestattet, der am besten unmittelbar unter dem Stiefel angebracht ist. Von den beiden Bohrungen des Hahnes geht die eine, Fig. 155 Nr. 1 sichtbare, quer hindurch, wie bei einem gewöhnlichen, einfachen Hahn; die andere, in Nr. 2 und 3 sichtbare, beginnt ebenfalls an der Querwand des Hahnes, an einer von der ersten Bohrung um einen Viertelkreis entfernten Stelle, und führt von da in einem Bogen nach der Spitze des Hahns.

Beim Emporziehen des Kolbens giebt man dem Hahn die in der Figur selbst gezeichnete Stellung Nr. 1, so daß die Luft aus dem Recipienten durch die Verbindungsröhre unter den Kolben gelangen kann. Sie füllt dann auch den Stiefel und wird dadurch verdünnt. Damit sie aber beim Niedergang des Kolbens nicht in den Recipienten zurückkehren könne, wird zuvor der Hahn um einen Viertelkreis gedreht, so daß sein Griff aus der wagerechten in die lothrechte Lage kommt, und erhält die in Nr. 2 gezeichnete Stellung, wobei Verbindungsröhre und Recipient von dem Stiefel abgesperrt sind. Die von dem niedergehenden Kolben gedrängte

Luft in dem unteren Theil des Stiefels entweicht durch die Bohrung des Hahns ins Zimmer. Vor dem zweiten Emporziehen des Kolbens hat man den Hahn wieder in seine erste Stellung zu drehen. Soll in den luftleeren Recipienten nach einem Versuch wieder Luft eindringen, so giebt

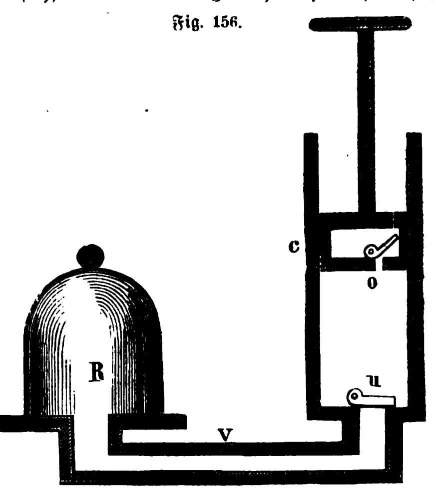
Fig. 155.



man dem Hahn die Stellung Nr. 3. Durch wiederholtes Auf- und Niederschieben des Kolbens und richtiges Stellen des Hahnes für jede Kolbenbewegung wird die Luft des Recipienten immer mehr verdünnt. Häufig wendet man statt des Stiefels deren zwei an und bewirkt durch eine mechanische Vorrichtung, daß, wenn der eine Kolben aufsteigt, der andere niedergeht.

Bei den **Ventilluftpumpen** ist der Kolben durchbohrt, und die Bohrung mit einem Ventil verschlossen, das sich, wie bei der gewöhnlichen Pumpe, nach oben öffnet; ebenso hat der Stiefel unten ein sich gleichfalls nach oben öffnendes Saugventil. Beim Emporziehen des Kolbens wird sein Ventil durch den atmosphärischen Luftdruck geschlossen, und die Luft des Recipienten dehnt sich vermöge ihrer Spannkraft durch das Saugventil hindurch bis unter den Kolben aus. Beim Niedergang des Kolbens wird die unter ihm befindliche Luft zusammengepreßt, schließt das Saugventil und entweicht nach oben durch das Ventil des Kolbens. Die Zeichnung stellt nur den einfachsten Entwurf einer Ventilluftpumpe dar; in der praktischen Ausführung erhalten die Ventile eine zusammengesetztere Einrichtung.

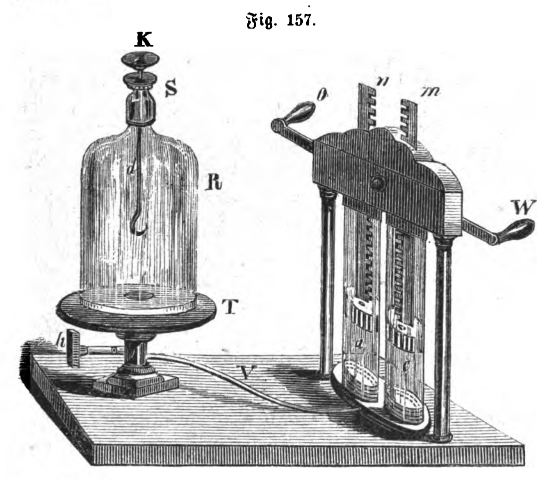
Fig. 156.



Sehr wirksam sind Ventilluftpumpen mit zwei Cylindern oder Stiefeln a und c; die Kolbenstangen n und m sind gezahnt; in die Zähne greift ein in dem hölzernen Gestell angebrachtes gezahntes Rad, das man

mittels des Hebels ow bewegt, so, daß die eine Kolbenstange emporsteigt, während die andere hinabbewegt wird. Unter den einen Kolben dringt die Luft aus dem Recipienten R und verdünnt sich dadurch; gleichzeitig strömt die Luft durch das Ventil des andern Kolbens ins Freie. Von den Stiefeln führt die Verbindungsröhre v nach dem Teller T und dem Recipienten R. Der gezeichnete Recipient ist eine oben mit einer Stopfbüchse versehene Spindelglocke. Die Glocke ist oben offen; über die Oeffnung ist eine messingene Fassung S gekittet, in dieser befinden sich über einander mehrere mit Oel getränkte Lederscheiben. Durch die Lederscheiben führt luftdicht ein lothrechter Draht in den Recipienten; der Draht läßt sich von außen mittels des Knopfes K drehen und verschieben; er läßt sich z. B. benutzen, um gegen eine in dem Recipienten aufgehängte Metallglocke zu schlagen. Der Hahn h dient dazu, den Recipienten abzusperren, wenn Körper längere Zeit in dem luftleeren Raume bleiben sollen.

Fig. 157.



Kleine, mit einem Senguerd'schen Hahn versehene Luftpumpen, mit denen sich die wichtigsten Versuche sämmtlich anstellen lassen, liefern die Mechaniker zu dem Preise von 30 bis 45 Mark. Beim Gebrauch klemmt man das Grundbrett der Luftpumpe mittels einer Schraubzwinge an die Platte eines Tisches fest. Bei der Aufbewahrung der Vorrichtung ist darauf zu sehen, daß sie vor dem Eindringen des Staubes geschützt sei. Gleichwohl wird es von Zeit zu Zeit nöthig sein, den Stiefel, den Kolben und den Hahn mit Fließpapier zu reinigen. Kolben und Hahn erhalten dann frisches Fett; für die Kolben wird Schweinefett, für den Hahn Talg genommen. Im Winter muß die Pumpe erst einige Zeit im geheizten Zimmer gestanden haben, bevor man versucht, den Kolben zu bewegen.

§. 124. Versuche mit der Luftpumpe.

1) Den **Druck der Luft** beweisen folgende Versuche:

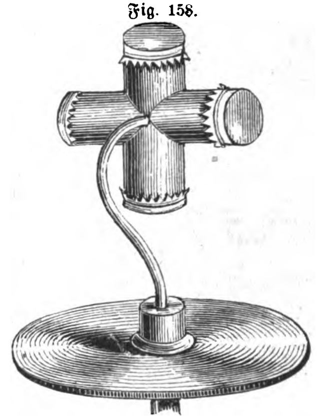
Versuch a. Zu jeder Luftpumpe gehört eine Glocke, die man wohl thut, nicht zu groß zu wählen, weil die Verdünnung der Luft in einem größeren Recipienten mehr Kraft erfordert und unnöthige Mühe verursacht. Der untere Rand der Glocke ist genau abgeschliffen. Er wird mit einer

Talgkerze ringsum bestrichen, die Glocke auf den Teller gesetzt, und die Luft zuerst langsam, dann schneller ausgepumpt. Schon nach wenigen Bewegungen des Kolbens wird die Glocke von der atmosphärischen Luft so fest gegen den Teller gedrückt, daß man nicht im Stande ist, sie herunterzunehmen. Man giebt dann dem Hahn eine solche Stellung, daß Luft unter die Glocke von außen her dringen kann, und schiebt sie drehend über den Rand des Tellers hinaus.

Versuch b. Man lasse sich aus Blech einen 7 Cm. weiten und ebenso hohen Metallring arbeiten, oben und unten mit wagerechten vorstehenden Rändern, die beide möglichst eben zu schleifen sind. Der obere Rand wird mit dünnem Gummi überbunden oder mit einer angefeuchteten Schweinsblase, die man vor Anstellung des Versuches auf dem Ringe trocknen läßt. Der untere Rand wird mit Talg bestrichen und auf den Teller der Luftpumpe gesetzt. Nach wenigen Kolbenzügen wird das Gummi in den Ring hinein gedrückt. Schließt der untere Rand des Ringes nicht gut, so kann man eine in der Mitte mit einem Ausschnitt versehene, überall mit Fett getränkte, starke Lederscheibe auf den Teller legen und den Ring darauf fest drücken.

Versuch c. Den allseitigen Luftdruck zeigt man durch ein Röhrenkreuz. Man läßt nach der Zeichnung vom Klempner vier in der Mitte zusammenstoßende Röhren von 4 Cm. Länge und gleicher Weite zusammenlöthen. Jede dieser vier Röhren erhält einen umgebogenen Rand, um den luftdicht eine feuchte Blase oder Gummi elasticum gebunden wird. Aus der Mitte des Röhrenkreuzes führt eine Röhre in einen unten offnen, sonst ringsum verschlossenen kleinen Cylinder, um dessen untere Oeffnung ein abgeschliffener Ring gelöthet ist, damit er, mit Talg befettet, luftdicht auf den Teller der Luftpumpe passe. Wird die Luft ausgepumpt, so drückt die äußere Luft von allen Seiten das Gummi in das Röhrenkreuz hinein.

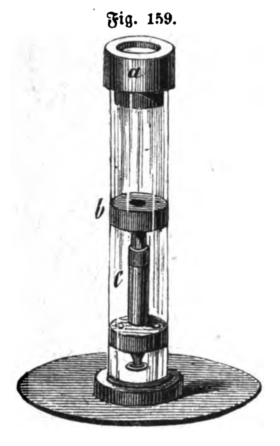
Fig. 158.



Versuch d. Der Quecksilberregen. An einem hohen Lampencylinder oder einer etwas engeren Glasröhre schleift man den unteren Rand mit Smirgel und Wasser (§. 289) eben, so daß er, mit Talg bestrichen, wenigstens mit unten angebrachter Lederscheibe, luftdicht auf den Teller der Luftpumpe paßt. Oben kittet man (mit Siegellack) in den Cylinder luftdicht ein Stück Nußbaum- oder Weißbuchenholz; dasselbe erhält von oben her eine Bohrung, die eine Fingerbreite über seinem unteren Boden endet; zweckmäßig ist es, die Bohrung nur so weit zu machen, daß man sie nachher oben mit dem Kork eines Medicinglases verschließen kann. So bildet das Holzstückchen eine oben offene Röhre mit starkem Boden, in die etwas Quecksilber gethan wird. Wollte man den so vorgerichteten Cylinder

auf den Teller stellen und die Luft verdünnen, so würde zwar das Quecksilber durch den atmosphärischen Druck durch die Poren des Holzes gepreßt werden und im Cylinder als ein feiner Regen niederfallen. Dabei würde aber Quecksilber in das Innere der Luftpumpe gelangen und sie verderben. Deshalb klemme man mitten in den Cylinder einen Kork, durch dessen Bohrung eine kurze Glasröhre abwärts führt. Darunter schiebe man einen Probircylinder, der die kurze Glasröhre umschließt, und klemme ihn durch einen durchbohrten, unter ihm befindlichen Kork fest. Führt man nun den Versuch aus, so gelangt alles Quecksilber in den Probircylinder; diesen, sowie den unter ihm befindlichen Kork nimmt man nachher heraus und kann das Quecksilber wieder oben in die Holzröhre gießen und diese für die Aufbewahrung, nicht aber bei Anstellung des Versuchs, zukorken.

Fig. 159.



Versuch e. Die Barometerprobe. Ein kleines, 15 Cm. hohes Heberbarometer wird unter den Recipienten gebracht, und die Luft verdünnt. Je weiter die Verdünnung fortschreitet, desto tiefer sinkt das Quecksilber in dem verschlossenen Arm, weil der Luftdruck, der die Quecksilbersäule trug, immer geringer wird, bis die Oberflächen des Metalles in beiden Armen beinahe gleich hoch stehen.

Fig. 160.



Versuch f. Der Stechheber. Da im Stechheber (§. 120) die Flüssigkeit durch den Luftdruck getragen wird, so muß sie aus ihm unter dem Recipienten ausfließen. Den Stechheber kann man folgendermaßen zusammenstellen. Man nimmt ein kleines Gläschen, füllt es mit Wasser und setzt einen Kork auf, durch den eine Spritzröhre geschoben ist. Man kehrt die Vorrichtung um, läßt sie von einem Draht tragen und stellt eine kleine Schale zum Auffangen des Wassers unter. So kommt das Ganze unter die Glocke der Luftpumpe.

Geschichtliche Berühmtheit hat **der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln** erlangt. Zwei hohle Halbkugeln, aus Kupfer oder Messing gearbeitet, mit einem Durchmesser, der 8 Cm., aber auch über 60 Cm. betragen kann, passen mit ihren genau geschliffenen Rändern, wenn dieselben angefettet sind, luftdicht auf einander. Aus der einen Halbkugel führt eine Röhre b mit einem Hahn, welche sich luftdicht auf die Oeffnung in dem Teller der Luftpumpe befestigen läßt. Außerdem sind beide Halbkugeln mit starken Handgriffen versehen. Die Halbkugel mit der Röhre wird mit dieser auf den Teller gesetzt oder geschraubt; die andere mit

ihrem Rande auf die untere aufgesetzt, und dann die Luft verdünnt. Nachdem der Hahn b geschlossen worden ist, entfernt man die Halbkugeln und hängt sie an dem einen Handgriff auf; an den andern Handgriff kann man beträchtliche Gewichte hängen, ohne daß die durch den Luftdruck zusammengehaltenen Halbkugeln von einander gerissen würden. Der Erfinder der Luftpumpe, der Magdeburgische Bürgermeister Otto von Guericke, stellte auf dem Reichstage zu Regensburg 1654 vor Kaiser Ferdinand III. Versuche mit seinen großen Halbkugeln an, welche einen Durchmesser von 55,776 Cm. hatten; zum Erstaunen der Zuschauer waren 24 bis 30 Pferde nicht im Stande, dieselben von einander zu trennen.

Fig. 116.



2) **Die Schwere der Luft** zeigt man, indem man einen mit einem Hahn versehenen Ballon von Glas möglichst luftleer macht und auf einer genauen Wage sein Gewicht bestimmt, darauf öffnet man den Hahn; es strömt Luft in den Ballon, und sein Gewicht wird größer. Vgl. §. 106.

Versuch g. Besitzt man eine nicht allzukleine, doch leichte Kochflasche, so verschließe man sie mit einem gut passenden Kork, den man in der Mitte mit einem glühenden dünnen Draht durchbohrt hat. Dann binde man über den Pfropfen und den Hals der Flasche ein Stück Blase oder Wachstaffet und mache in diesen auf beiden Seiten neben der Oeffnung des Korkes zwei kleine parallele Schnitte. So hat man die Flasche mit einem Ventil verschlossen, welches das Einströmen der Luft hindert. Dies Gefäß wird gewogen, dann unter die Glocke der Luftpumpe gebracht und nach dem Auspumpen wieder gewogen.

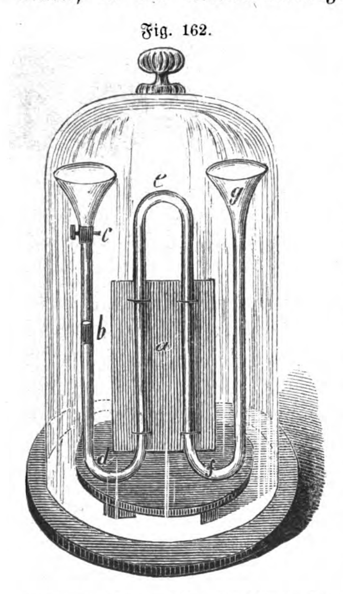
Um zu finden, wie groß **das Gewicht der Luft** ist, pumpt man aus einer großen hohlen Glaskugel, die man mit einem Hahn öffnen oder verschließen kann, die Luft aus und wägt die luftleere Kugel. Darauf öffnet man den Hahn, läßt Luft in die Kugel strömen und ermittelt das Gewicht der mit Luft gefüllten Kugel. Faßt die Kugel 10 Liter, so wiegt sie mit Luft bei Null Grad Wärme fast 13 Gr. mehr. 10 Liter oder 10000 Kubik-Cm. Luft wiegen 13 Gr.; 1 Kubik-Cm. Luft wiegt daher $^{13}/_{10000} = ^{1}/_{770}$ Gr. Da 1 Kubik-Cm. Wasser 1 Gr. wiegt, beträgt das Gewicht der atmosphärischen Luft den 770. Theil von dem des Wassers. — Auf ähnliche Weise ermittelt man das Gewicht anderer luftförmiger Körper, z. B. des Wasserstoffs. Man macht die Glaskugel möglichst luftleer und läßt dann durch den Hahn Wasserstoff einströmen. Bei den Luftarten giebt man an, wie viel Mal so viel sie wiegen, als ein ebenso großer Raumtheil atmosphärischer Luft. Das specifische Gewicht einer Luftart ist daher die unbenannte Zahl, welche angiebt, wie viel Mal so viel diese Luftart wiegt, als ein ebenso großer Raumtheil atmosphärischer Luft. Das specifische Gewicht des Wasserstoffs ist 0,07, das der luftförmigen Kohlensäure 1,52. Ein Kubik-Cm. atmosphärischer Luft wiegt 0,0013 Gr.; ein Kubik-Cm. luftförmiger Kohlensäure wiegt $1{,}52 \times 0{,}0013$ Gr.

3) **Die Spannkraft der Luft** thun folgende Versuche dar:

Versuch h. Ein Probircylinder wird zum größeren Theil mit

Wasser gefüllt, mit dem Daumen zugehalten und, mit der Oeffnung nach unten, in ein kleines Trinkglas mit Wasser gestellt. Bringt man diese Geräthschaft unter die Glocke, so sieht man, wie die in dem oberen Theile des Probircylinders abgesperrte Luftmenge sich bei der Verdünnung der Luft im Recipienten immer mehr ausdehnt, bis unten aus dem Probircylinder Luftblasen emporsteigen.

Fig. 162.



Versuch i. Sehr deutlich zeigt die Spannkraft der Luft der in der Zeichnung dargestellte Apparat. An ein lothrechtes Brettchen a, das von einem wagerechten getragen wird, ist eine mehrfach gebogene Glasröhre cdefg befestigt. In dieselbe ist ein Quecksilbertropfen b hinein gebracht, und durch denselben zwischen c und b eine Luftmasse abgesperrt. Die Absperrung kann bei c durch einen Hahn oder dadurch geschehen, daß man bei c die Röhre zusiegelt. Pumpt man die Luft aus, so nimmt die Luftmenge cb einen zusehends größeren Raum ein.

Versuch k. Eine zusammengedrückte, nur noch wenig Luft enthaltende Fischblase wird durch die Spannkraft derselben unter dem Recipienten wieder ausgedehnt. Die Fischblase communicirt mit der atmosphärischen Luft durch eine kleine Röhre, diese schneidet man mit einer Scheere durch, drückt die Blase zusammen, dreht auch die durchgeschnittene Röhre mit angefeuchteten Fingern wieder zusammen und läßt sie trocknen. Neben die Fischblase kann man bei Anstellung des Versuchs einen zusammengedrückten hohlen Gummiball legen. Nach dem Zusammendrücken muß die Oeffnung des Balls, am besten mit etwas erwärmter Guttapercha, verschlossen werden.

Versuch l. Kleine Stücke von Tannenholz werden in ein Trinkglas gelegt, mit einem Stein beschwert und mit Wasser übergossen; darauf bringt man das Glas unter den Recipienten und setzt die Luftpumpe in Thätigkeit. In den Zwischenräumen zwischen den Theilen des Holzes ist Luft enthalten; diese dehnt sich unter der Glocke aus und steigt zum Theil im Wasser empor. Läßt man wieder Luft in den Recipienten, so drückt diese auf das Wasser und treibt einen Theil der Flüssigkeit in die Poren des Holzes, was zur Folge haben kann, daß das Holz nachher im Wasser untersinkt.

Versuch m. Man fertige sich einen ganz kleinen Heronsball, dessen Spritzröhre eine sehr feine Oeffnung hat (§. 105), und stelle ihn auf einer Schale (Untertasse) unter den Recipienten. Die in dem Heronsball enthaltene Luft kann sich nun ausdehnen und nöthigt die Flüssigkeit, emporzuspringen. Die Schale nimmt das herabfallende Wasser auf, das nicht in die Luftpumpe gelangen darf.



Dabei kann man ein interessantes Verfahren anwenden, um den Heronsball wieder zu füllen. Nachdem man Luft hat in die Glocke einströmen lassen und sie vom Teller weggeschoben hat, gieße man noch ein wenig Wasser in die Schale und kehre den Heronsball um, so daß die Oeffnung seiner Spritzröhre in das Wasser der Schale taucht. Die Glocke wird darüber gestellt, und die Luft verdünnt. Dadurch wird auch die Luft im Heronsball verdünnt. Läßt man wieder Luft in den Recipienten, so kann dieselbe nicht in den Heronsball gelangen, sondern treibt in ihn, da er einen luftleeren Raum umschließt, Wasser aus der Schale, wodurch er wieder hinreichend gefüllt wird.

Versuch n. Die durch einen gleicharmigen Heber verbundenen Gefäße. Ein kleines Medicinfläschchen a wird zu zwei Dritttheilen mit Wasser gefüllt, unter welches man einige Tropfen Tinte gießen kann. Dann setzt man einen luftdicht schließenden Kork auf, durch die Bohrung desselben ist der eine Arm eines kleinen gleicharmigen Saughebers (§. 120 b) luftdicht geschoben und reicht bis auf den Boden des Glases hinab. Der andere Arm des Hebers führt in ein leeres, oben offenes Medicinglas b und berührt dessen Boden. Stellt man diese Vorrichtung unter die Luftpumpenglocke, so wird die Luft in dem leeren Glase verdünnt, und die Luftmasse in dem gefüllten zeigt eine größere Spannkraft und treibt alles Wasser durch den Heber in das leere Glas. Läßt man nun wieder Luft unter den Recipienten, so drückt diese auf die Flüssigkeit in dem offenen Glase und zwingt sie, weil die Luft in dem verschlossenen Fläschchen sich ausgedehnt und verdünnt hat, in dieses auf demselben Wege zurückzukehren, auf welchem sie gekommen ist.

Fig. 163.



Versuch o. Nachdem man auf den Teller eine angefettete Lederscheibe gelegt hat, stelle man darauf einen Metallring, wie bei Versuch b, nur kleiner, etwa ein gut gearbeitetes Serviettenband, drücke oben die linke Hand darauf und verdünne die Luft etwas. Man wird sogleich empfinden, daß die in der Hand enthaltene Luft sich ausdehnt und die Haut abwärts in den Ring hineintreibt.

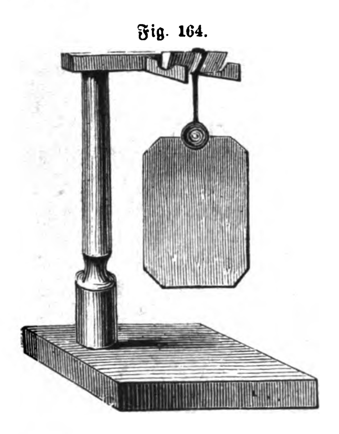
4) **Der Widerstand, den die Luft fallenden Körpern entgegenstellt,** erhellt aus den Fallversuchen im luftleeren Raume.

Versuch p. Will man dieselben auch noch so einfach anstellen, so erfordern sie immer einigen Aufwand an Geldmitteln. Man bedarf einer fast 5 Cm. weiten und 60 bis 90 Cm. langen Glasröhre. Diese wird oben luftdicht verschlossen. Darauf wird eine kleine Feder, ein Blättchen Seidenpapier und ein Schrotkorn hineingethan. Endlich erhält die Röhre unten eine Fassung; von dieser führt eine Röhre mit einem Hahn abwärts und ist so eingerichtet, daß sie sich luftdicht auf den Teller der Pumpe stellen oder schrauben läßt. Kehrt man die Fallröhre so um, daß sie lothrecht

steht, so fallen, so lange sie voll Luft ist, alle drei Körper verschieden schnell; Papier und Feder werden durch den Widerstand der Luft aufgehalten. Ist dagegen die Luft stark verdünnt, und der Hahn geschlossen, so fallen die Körper beim Umkehren der Fallröhre gleich schnell.

Versuch q. Der Widerstand der Luft läßt sich auch mittels eines Papierpendels nachweisen. An einen dünnen Draht ist oben eine dreikantige Axe befestigt, die von den bogenförmigen Vertiefungen zweier Metallbleche getragen wird. Unten ist der Draht in eine dünne Korkscheibe gesteckt, in welche ein nicht zu kleines Papierblatt geklemmt ist. Die Vorrichtung bildet ein Pendel, dessen Linse von Papier ist. Der Kork läßt sich drehen, so daß das Papier einmal mit der breiten, das andere Mal mit der schmalen Fläche die Luft durchschneidet. Im zweiten Fall schwingt das Pendel schnell und oft, im ersten langsam und wenige Mal. Die Luft leistet seinem Fallen großen Widerstand. Damit ist die in Rede stehende Wahrheit dargethan. Man kann aber dies Pendel noch unter die Glocke der Luftpumpe bringen. Dann fällt oder schwingt es bei beiden Stellungen gleich oft und gleich schnell.

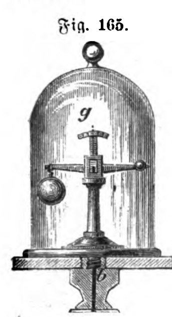
Fig. 164.



5) **Der Gewichtsverlust eines Körpers in der Luft.**

Versuch r. An den einen Arm eines kleinen, empfindlichen Wagebalkens, der von einer niedrigen Säule getragen wird, hängt man eine hohle, aus dünnem Blech gearbeitete Messingkugel (oder eine luftdicht verschlossene Kochflasche oder einen großen Kork). An dem anderen Hebelarm bringt man ein kleines Bleigewicht so an, daß das Gleichgewicht hergestellt ist. Den dergestalt belasteten Wagebalken bringt man unter den Recipienten. Wird die Luft verdünnt, so hört das Gleichgewicht auf, und die Messingkugel sinkt hinab. Die Kugel wiegt also mehr, als das Bleigewicht. Daß beide sich in einem lufterfüllten Raum das Gleichgewicht hielten, kann nur durch die Luft bewirkt sein. Wo sich die Kugel befindet, da befand sich vorher eine Luftmasse, die von den sie umgebenden Luftschichten getragen wurde. Dieselben tragen daher einen Theil von dem Gewicht der Kugel, ein Umstand, welcher bei dem Bleigewicht wegen seines weit geringeren Umfangs weniger in Betracht kommt.

Fig. 165.



Man kann nun (§. 91) den Gewichtsverlust sowohl der Kugel, als auch des Bleistücks im Wasser ermitteln. Der 770. Theil von dem Gewicht der verdrängten Wassermassen ist das Gewicht der ebenso großen Luftmassen. Das Gewicht der vom Blei verdrängten Luftmasse zieht man

ab von dem Gewicht der durch die Kugel verdrängten Luftmasse. Wieviel der Rest beträgt, oder wieviel die durch die Kugel verdrängte Luftmenge mehr wiegt, so viel Gr. hängt man an den Arm des Wagebalkens, der das Bleistück trägt. Dieser Arm erlangt in der Atmosphäre das Uebergewicht; aber unter dem Recipienten der Luftpumpe tritt, sobald die Luft ausreichend verdünnt ist, das Gleichgewicht ein. In der Luft verlieren daher die Körper so viel von ihrem Gewicht, als die durch sie verdrängten Luftmassen wiegen. Das Archimedische Gesetz (§. 87) hat somit auch für luftförmige Körper Gültigkeit. Eine Folge davon ist, daß ein Körper, z. B. ein Luftballon (§. 239 u. ff.) emporsteigen muß, wenn er weniger wiegt, als die von ihm verdrängte Luftmasse.

6) **Der Widerstand, den die Luft der Dampfbildung entgegenstellt.** (§. 367.)

Versuch s. Lauwarmes Wasser fängt im luftverdünnten Raume an zu kochen. Man gießt das mäßig warme Wasser in einen Probircylinder, läßt denselben, wie in Versuch f, von einem kleinen Drahtgestell tragen und stellt ihn auf den Teller unter eine möglichst kleine Glocke. Je mehr die Luft verdünnt wird, desto weniger kann sie auf die Wasseroberfläche drücken und das Aufsteigen der Dampfblasen verhindern. Das Wasser geräth daher bei geringerer Wärme in die wallende Bewegung des Siedens.

7) **Die Leitung des Schalles durch die Luft.** (§. 274.)

Versuch t. An ein Gestell, das man aus drei Drähten gefertigt hat, binde man eine kleine Glocke; daneben hänge man an einem Faden ihren Klöpfel auf, so daß er bei einer geringen Erschütterung gegen die Glocke schlägt. Das Drahtgestell befestigt man mit Fäden oben auf ein lockeres, mit Federn oder Baumwolle gefülltes Kissen. Dann stellt man die Vorrichtung auf den Teller der Pumpe. Das Gestell darf nur eine solche Höhe haben, daß oben zwischen ihm und dem Recipienten hinreichender Raum bleibt. Das Kissen hindert den Schall, sich von der Glocke zum Teller und so durch feste Körper bis zum Ohr fortzupflanzen. Hat man die Luft stark verdünnt, so kann man die Luftpumpe schnell hin- und herbewegen; dabei sieht man den Klöpfel gegen die kleine Glocke schlagen, hört aber keinen Ton. — Man hat zu diesem Versuch wohl auch einen Wecker, der durch Aufziehen in Thätigkeit gesetzt wird.

8) **Die Nothwendigkeit der Luft zum Brennen und zum Leben.** (§. 255 und 270.)

Versuch u. Ein kurzes, angezündetes Licht erlischt unter dem Recipienten bald, weil in dem luftverdünnten Raume nicht mehr so viel Sauerstoff da ist, als zum Brennen erfordert wird.

Zu andern ähnlichen Versuchen wird eine Spindelglocke verwandt. Mit Hülfe einer solchen kann man ein Flintenschloß, das auf den Teller gestellt ist, im luftleeren Raum abdrücken; der Stahl giebt keine Funken, und das Pulver auf der Pfanne entzündet sich nicht. — Kleine Thiere sterben im luftleeren Raume.

Eine **Anwendung** der Luftpumpe ist die **atmosphärische** oder

pneumatische Beförderung von Depeschen. In Berlin führen nach dem Telegraphenamt pneumatische Röhrenleitungen; eine derselben verbindet die Börse mit dem Telegraphenamt; in der Erde liegen neben einander zwei eiserne Röhren von 9 Cm. Durchmesser und einer Länge von 890 M. Die Röhrenleitung ist luftdicht und an den Enden mit Hähnen versehen; mittels derselben kann die eine Röhre in Verbindung mit einem 5 Cubik-M. großen Cylinder gesetzt werden, in welchem die Luft verdichtet ist, die andere Röhre mit einem ebenso großen Cylinder, aus dem die Luft ausgepumpt ist. Die Verdichtung und die Verdünnung der Luft bewirkt eine durch eine Dampfmaschine getriebene Luftpumpe. Die Wagen für die Briefe sind feste, in die Röhre passende, verschließbare Cylinder, die der größeren Beweglichkeit wegen an den Enden mit Rollen versehen sind. Nachdem ein solcher Depeschenwagen im Telegraphenamt in die eine Röhre geschoben ist, wird durch Drehen der Hähne in das Ende der Röhre comprimirte Luft eingelassen und bewegt den Wagen vor sich her; dagegen wird aus der anderen Röhre Luft gepumpt, und der auf der Börse eingesetzte Wagen durch Saugen herangezogen. Aehnliche Einrichtungen werden in kleinerem Maßstabe in großen Gebäuden und umfangreichen Fabrikanlagen getroffen, um Depeschen, Anordnungen, Nachrichten oder Bestellungen aus einem Theil des Gebäudes nach einem anderen zu befördern; die Depeschen werden in kleine, hohle Kolben gelegt, und diese in die pneumatische Röhrenleitung gebracht; darauf bewirkt man durch Oeffnen eines Hahns, daß comprimirte Luft auf den Kolben einwirkt und ihn sammt seiner Depesche in ein anderes Zimmer oder Stockwerk fortbläst.

Eine andere Anwendung der Luftpumpe ist das Imprägniren von Hölzern. Nach dem bei Versuch 1 angewandten Verfahren werden Holzstücke mit färbenden Flüssigkeiten oder solchen Stoffen getränkt, welche die Dauerhaftigkeit des Holzes erhöhen und dasselbe gegen Fäulniß schützen.

Von der Dampfbildung, welche in einem luftleeren Raum bei niedriger Temperatur vor sich geht, macht man bei der Herstellung des Zuckers eine wichtige Anwendung. Bei derselben kommt es darauf an, den Zuckersaft rasch einzukochen, aber auch seine Temperatur nicht zu sehr zu erhöhen, weil bei zu großer Wärme sich viel krystallisirbarer Zucker in weniger werthvollen Syrup verwandelt. Deshalb geschieht das Einkochen des Zuckersaftes in Vacuumpfannen, in großen, fast kugelförmigen Kesseln von Kupfer, welche durch eine Luftpumpe luftleer gemacht werden, so daß die ausreichend schnelle Dampfbildung bei nicht zu hoher Temperatur vor sich geht.

Zweite Abtheilung.

Magnetische, elektrische und chemische Erscheinungen.

Der Magnetismus.

§. 125. Natürliche und künstliche Magnete.

Nicht weit von Smyrna in Kleinasien lag, von Gebirgen umgeben, die Stadt **Magnesia**; aus den Eisengruben dieses Gebirges erhielten die Alten grauschwarze Steine von eigenthümlichem Glanze, welche die merkwürdige Kraft besaßen, Eisenstücke anzuziehen, und nach dem Namen jener Stadt Magnete oder Magnetsteine genannt wurden. Schon dem Thales, einem der sieben Weisen, war die anziehende Kraft der Magnetsteine bekannt; je unbekannter aber in Wahrheit die übrigen Eigenschaften derselben blieben, desto mehr Dichtung wußte man in den folgenden Zeiten von ihnen zu erzählen. Einst hütete, so erzählte man, ein Schäfer, mit Namen Magnes, auf dem Berge Ida seine Heerde und war im Begriff, sie weiter zu treiben, als er plötzlich fühlte, daß von dem Gestein seine mit eisernen Nägeln beschlagenen Schuhe festgehalten wurden; diese Sage war ein mißlungener Versuch, den Namen „Magnet" zu erklären, und beruhte schon deshalb auf einem Irrthum, weil die Magnetsteine, so lange sie in ihrem Lager bleiben, gar keine anziehende Kraft zeigen, sondern sie erst dann offenbaren, wenn sie losgebrochen und zu Tage gefördert sind. Im Mittelalter schrieb man diesen Steinen ohne Grund wundersame Heilkräfte zu, stieß sie zu Pulver und verwandte sie zu Heilpflastern oder gab sie den Kranken ein, um Magenübel, Kröpfe oder Kopfschmerz zu heilen. Gleichzeitig erzählten die Seefahrer von dem Magnetberge, einem Berge auf einer im Norden gelegenen Insel, der ganz aus Magnetsteinen bestehen und schon aus meilenweiter Entfernung alle eisernen Nägel und Klammern aus den sich nähernden Schiffen ziehen sollte, so daß die Fahrzeuge auseinander fielen, und die Mannschaft umkommen müßte. Weit verbreitet war in Europa die Sage, der eiserne Sarg Muhameds werde zu Medina in der Moschee des Propheten von zwei gewaltigen Magnetsteinen gehalten, so daß er keinen derselben berühre, sondern zwischen beiden frei in der Luft schwebe; allein der Sarg hat von jeher, wie noch heutzutage, auf einem Mauerwerk von schwarzen Steinen gestanden, das von zwei Säulen getragen wird.

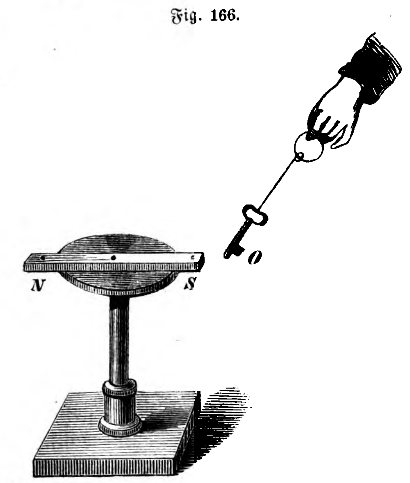
Die Magnetsteine sind Eisenerze, die aus Eisen und Sauerstoff bestehen; sie finden sich im Spitzberg am Harz und im Erzgebirge, besonders

aber in den Eisenbergwerken Norwegens und Schwedens und in dem Magnetberg des mittleren Uralgebirges. Man nennt diese in der Natur sich vorfindenden Magnete natürliche Magnete und unterscheidet sie von den künstlichen Magneten, die man aus Stahl bereitet. Für die folgenden Versuche reicht ein beliebiger Stahlmagnet aus, und es genügt schon ein solcher Magnet, wie er den magnetischen Spielzeugen, Fischen oder Schiffen, beigegeben zu werden pflegt.

Die magnetische Anziehung.

§. 126. Anziehung von Eisen durch einen Magnet.

Fig. 166.



Versuch. Ein Stückchen Eisendraht (eine Stahlfeder, ein kleiner Schlüssel oder Nagel) werde an das eine Ende eines dünnen Fadens befestigt, und dessen freies Ende mit der Hand gehalten; der Faden nimmt lothrechte Richtung an. Nähert man dem Eisenstückchen einen Magnet, so wird es von ihm angezogen, bewegt sich gegen ihn hin und giebt dem Faden schräge Richtung. Je näher man den Magnet bringt, desto stärker wirkt seine Anziehungskraft, desto schrägere Richtung nimmt der Faden an. Bei noch größerer Annäherung bewegt sich das Eisenstück bis an den Magnet und haftet an demselben. Man reißt es langsam los und kann den Versuch beliebig oft wiederholen.

§. 127. Anziehung des Magnets durch Eisen.

Versuch. Während im vorhergehenden Versuch das Eisen leichtbeweglich aufgehängt war, hänge man umgekehrt den Magnet an seinem einen Ende lothrecht auf, indem man darüber ein durchbohrtes Korkstückchen schiebt und daran einen Faden befestigt. Nähert man dem unteren Ende des hängenden Magnets einen Schlüssel, so wird der Magnet von dem Schlüssel angezogen, bewegt sich gegen ihn hin und haftet bei der Berührung an ihm.

Ist die magnetische Anziehungskraft stark genug, so bleibt der Magnet sogar an dem mit der Hand gehaltenen Schlüssel hängen, ohne von der Schwerkraft losgerissen zu werden.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich das

Gesetz: Ein Magnet und unmagnetisches Eisen ziehen sich gegenseitig an.

§. 128. Anwendung der magnetischen Anziehung.

Die magnetische Anziehung wird benutzt, um aus fein zertheilten Massen das Eisen auszuscheiden, oder um zu erkennen, ob ein Körper Eisen enthalte.

Versuch a. Für die folgenden Versuche hat man Eisenfeilspäne nöthig, wie man sie aus der Werkstatt jedes Schlossers erhalten, oder wie man sie sich selbst darstellen kann, indem man von einem eisernen Nagel Späne abfeilt. Da die Schlosser auch andere Metalle zu feilen haben, so finden sich unter ihren Eisenfeilspänen auch Späne von anderen Metallen, besonders von Messing, auch wohl von Kupfer. Um diese auszusondern, bringt man das eine Ende eines Magnets den Spänen langsam nahe; es setzen sich Eisenfeilspäne an den Magnet, man streift sie mit dem Finger ab und sammelt sie auf einem Blatt Papier. Dies Verfahren wiederholt man, bis genug Eisen gesammelt ist. Die Messingspäne werden nicht angezogen und bleiben zurück; außer dem Eisen werden nur noch zwei Metalle, Nickel und Kobalt, von den gewöhnlichen Magneten merklich angezogen. Vergl. §. 224.

Versuch b. Man nehme ein kleines Stück Weißblech und nähere ihm den Magnet; es wird von ihm stark angezogen, und dadurch wird dargethan, daß es eine große Menge Eisen enthält. Das von den Handwerkern verarbeitete Weißblech ist nichts Anderes, als verzinntes Eisenblech.

§. 129. Das Hindurchwirken des Magnets durch andere Körper.

Versuch a. Ein Stück Eisendraht hänge man an einem dünnen Faden auf und binde das obere Ende des Fadens an ein Gestell; am einfachsten wählt man dazu eine Flasche, durch deren Kork ein dünnes Holzstäbchen oder ein Messingdraht geschoben ist. Nähert man aus einiger Entfernung dem hängenden Eisenstück das eine Ende des Magnets, so bewegt sich das Eisen ihm entgegen. Ohne die Stellung des Magnets zu ändern, bringe man nun zwischen ihn und das Eisen ein Blatt Papier oder eine Glasscheibe oder ein Brettchen; die Richtung des Fadens wird ebenso schräg bleiben, und die Anziehung wird sich ungehindert zeigen. Der Magnet wirkt daher durch andere Körper hindurch.

Versuch b. Man halte unmittelbar hinter ein Blatt Papier einen Magnet in lothrechter Stellung, so daß dem Beobachter nur die Oberfläche des Papiers sichtbar ist. Man kann auf dieser Seite des Papiers ein kleines Eisenstück an die Stelle schieben, hinter welcher das obere Ende des Magnets liegt; eine feine Nähnadel, ein dünnes Drahtstück oder, wenn der Magnet mehr tragen kann, ein Schlüssel wird von dem versteckten

Magnet festgehalten. In dieser Weise benutzt man die hindurchwirkende Anziehungskraft eines Magnets zu dem Kunststück, einen Schlüssel an einen gemalten Nagel zu hängen; hinter der Tapete des Zimmers ist an der durch den gemalten Nagel bezeichneten Stelle ein starker Magnet versteckt, dessen Anziehungskraft den Schlüssel festhält und sein Hinabfallen hindert.

Versuch c. Zwischen das an dem Faden hängende Eisenstück (Versuch a.) und den Magnet bringe man ein Eisenblech oder eine breite Messerklinge dergestalt, daß sie ihre breiten Flächen dem Magnet zukehren. Der Faden wird lothrechte Lage annehmen. Durch eine zwischen Magnet und Eisen mit ihren breiten Flächen gebrachte Eisenplatte wird die gegenseitige Anziehung sehr geschwächt.

Versuch d. Ein Blatt Papier werde in horizontaler Lage gehalten, und darauf wenig Eisenfeilspäne oder dünne Nähnadeln gethan. Unmittelbar unter das Papier bringt man das eine Ende des Magnets; bewegt man ihn langsam nach einer Seite, so bewegen sich die Eisenstückchen auf dem Papier, durch ihn fortgezogen, in derselben Richtung.

§. 130. Die Pole des Magnets.

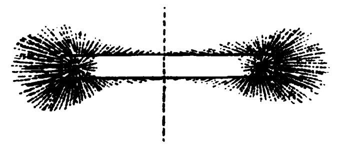
Versuch a. Vielleicht hat man schon bei den bisher angestellten Versuchen die Beobachtung gemacht, daß keineswegs alle Stellen eines Magnets eine gleich große Anziehungskraft haben. Um diese Thatsache genauer zu erforschen, bediene man sich eines hängenden Eisenstücks (§. 129 a) und halte den Magnet lothrecht daneben. Ist das obere Ende des Magnets dem hängenden Eisen nahe genug, so wird der Faden aus seiner lothrechten Richtung abgelenkt. Schiebt man den Magnet in lothrechter Stellung weiter empor, so daß seine mittleren Punkte auf das Eisen wirken, so wird der Faden weniger abgelenkt und zeigt an, daß die anziehende Kraft dieser Punkte geringer ist. Ungefähr in der Mitte des Magnets findet sich ein Punkt, der gar keine Anziehung zeigt, und neben welchem der Faden lothrecht hängen bleibt. Die weiter abwärts liegenden Stellen des Magnets lenken den Faden wieder ab und zwar desto stärker, je näher sie dem unteren Ende liegen; nahe dem unteren Ende aber muß sich ein Punkt finden, der ebenso starke Anziehungskraft zeigt, wie das obere Ende.

An jedem Magnet, er mag ein natürlicher oder ein künstlicher sein, finden sich zwei Punkte, die sich durch ihre größere Anziehungskraft vor allen anderen auszeichnen; diese beiden Punkte, in welchen die Anziehungskraft am stärksten ist, heißen die Pole des Magnets und liegen bei einem geraden Magnetstabe an seinen beiden Enden. In der Mitte zwischen beiden liegt ein Punkt, der gar keine anziehende Kraft zeigt und der Indifferenzpunkt des Magnets genannt wird.

Versuche b. Man lege einen Magnet in Eisenfeilspäne und drehe ihn dann einige Mal um, so wird er sich an den Polen wegen ihrer stärkeren Anziehung mit längeren Fäden von Eisenfeile bedecken; nach der

Mitte zu werden die Fäden kürzer, und in der Nähe des Indifferenzpunktes ist die Anziehung so gering, daß gar keine Feilspäne an dem Magnet haften. Eine ähnliche Erscheinung nimmt man wahr, wenn man auf den Magnet ein Stück Papier legt, behutsam wenig Eisenfeilspäne auf das Papier streut und es leise anstößt. — Wählt man ferner ein Eisenstück, gerade so schwer, daß der Magnet es an seinen Polen trägt, aber kein schwereres tragen würde, so wird es von keiner anderen Stelle des Magnets getragen werden.

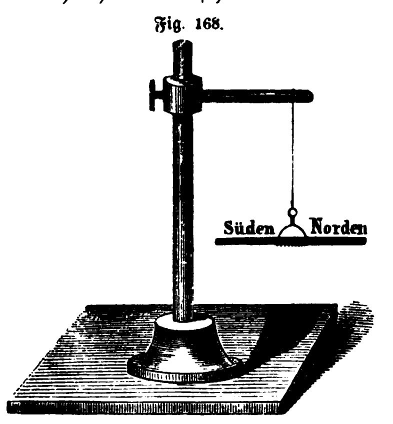
Fig. 167.



§. 131. Nordpol und Südpol.

Versuch. Man verschaffe sich ungedrehte Fäden, um daran Magnete aufzuhängen. Am besten eignet sich dazu ungedrehte Seide (ungezwirnte Knopfmacherseide), die man auch für die elektrischen Versuche anwenden kann, und von welcher man für 10 Pfennige von jedem Posamentirer eine auch für die späteren Versuche ausreichende Menge erhalten wird. Den Magnet schiebt man durch eine durchbohrte Korkscheibe oder eine Papierhülse, befestigt mittels einer Nähnadel daran einen ungedrehten Faden und hängt so den Magnet auf. Durch Hin- und Herschieben ist leicht zu erreichen, daß er wagerechte Stellung annimmt. Wenn man alsdann den Magnet sich selbst überläßt, so wird er sich hin und her bewegen, bis er in einer bestimmten Lage zur Ruhe kommt; stößt man ihn an, so kehrt er nach mehrfachen Schwingungen in dieselbe Stellung zurück. Es richtet sich, vorausgesetzt, daß sich kein Eisen in seiner Nähe befindet, die vom Magnet angenommene Stellung nach den Himmelsgegenden; der eine Pol, der Nordpol, weiset ungefähr nach Norden, während der andere ungefähr nach Süden zeigt und der Südpol heißt. An welchem Orte man auch den Magnet frei beweglich aufhängen mag, überall zeigt er dieselbe Erscheinung. Diese Eigenschaft des frei beweglichen Magnets, vermöge deren er ungefähr die Richtung von Süden nach Norden annimmt, heißt die Richtungsfähigkeit des Magnets. Den Nordpol des Magnets, den man besitzt, merke man sich an irgend einem Kennzeichen; bei größeren Magneten pflegt er von den Verfertigern durch einen Punkt oder durch den Buchstaben N kenntlich gemacht zu sein.

Fig. 168.

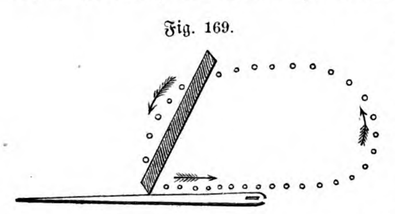


Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier Magnete.

§. 132. Gegenseitige Anziehung zweier Magnete.

Versuch a. Damit man das gegenseitige Verhalten zweier Magnete beobachten könne, muß man es verstehen, sich künstliche Magnete zu fertigen, da man meistens sich nicht im Besitz mehrerer Magnete befinden dürfte. Wenn der Magnet, mit welchem man die Versuche anstellt, nicht allzuschwach ist, sondern ein ziemlich großes Eisenstück trägt, so kann man damit dünne Stricknadeln magnetisch machen; ist er nur sehr schwach, so wählt man feine Nähnadeln, die gute Dienste leisten, und magnetisirt sie nach folgendem Verfahren, welches der einfache Strich genannt wird. Man legt die Nadel auf den Tisch und hält ihre Spitze mit der linken Hand fest; in die Rechte nimmt man den Magnet, setzt seinen Nordpol auf die Mitte der Nadel und streicht damit langsam die rechte Hälfte der Nadel, von ihrer Mitte bis zu ihrem Ohr. Sodann führt man den Magnet 20 Cm. über das rechte Ende der Nadel hinaus, beschreibt mit ihm einen Bogen in der Luft, indem man ihn 20 Cm. von der Nadel entfernt hält, setzt ihn mit dem Nordpol wieder auf die Mitte der Nadel und wiederholt eben dies Verfahren etwa 30 Mal. Die linke Hälfte der Nadel wird auf ähnliche Weise magnetisirt; nachdem man den Magnet wiederum weit über das rechte Ende der Nadel hinausgeführt und bei Seite gelegt, halte man das Ohr der Nadel mit der rechten Hand fest und nehme den Magnet in die linke, so daß sein Südpol sich unten befindet. Man setzt den Südpol mitten auf die Nadel, streicht von der Mitte nach der linken Seite, fühct den Magnet auch hier über die Nadelspitze hinaus und im Bogen durch die Luft zurück nach der Mitte. So wird die linke Hälfte der Nadel ebenfalls 30 Mal gestrichen. Man steckt sie durch ein kleines Stück Briefpapier und hängt sie an einem ungedrehten Seidenfaden auf. Die Spitze der Nadel, die mit dem Südpol gestrichen worden, wendet sich dann gen Norden, ist also der Nordpol; man kann ihn durch ein übergeschobenes Papierstückchen kenntlich machen.

Fig. 169.



Versuch b. Nun nähere man dem Nordpol der Nadel von der Seite her den Südpol des Magnets; es wird eine Anziehung eintreten bereits in weiterer Entfernung, als bei einem hängenden unmagnetischen Eisenstück. Hält man den Magnet still, so wird die Nadel zuerst hin- und herschwingen und, wenn sie zur Ruhe kommt, ihren Nordpol dem Südpol des Magnets zuwenden. — Umgekehrt nähere man dem Südpol der Nadel den Nordpol des Magnets; zwischen beiden zeigt sich dieselbe starke Anziehung.

Nordpol und Südpol ziehen sich gegenseitig an.

§. 133. Gegenseitige Abstoßung zweier Magnete.

Versuch a. Dem Nordpol der hängenden Magnetnadel bringe man den Nordpol eines Magnets nahe; es zeigt sich eine gegenseitige Abstoßung, und der Nordpol der Nadel bewegt sich von dem Nordpol des Magnets hinweg. Ebenso stoßen der Südpol der Nadel und der Südpol des Magnets einander ab.

Nordpol wird von Nordpol, und Südpol von Südpol abgestoßen.

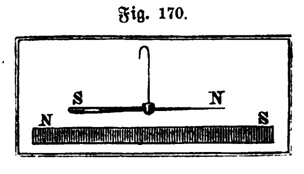
Wo zwei Magnete sind, da sind auch zwei solche Pole vorhanden, die den gleichen Namen „Nordpol" führen, und zwei solche Pole, die den gleichen Namen „Südpol" tragen. Nordpol und Nordpol heißen gleichnamige Pole, ebenso zwei Südpole. Nordpol und Südpol dagegen werden als ungleichnamige Pole bezeichnet. Aus den vorhergehenden Versuchen folgt als

Gesetz magnetischer Anziehung und Abstoßung: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen einander an.

Hierauf beruht das Spielwerk der magnetischen Schwäne oder Fische, die, aus dünnem Blech gefertigt, schwimmen und einen kleinen Magnet im Munde tragen; die Angel ist gleichfalls ein Magnet; die Fische schwimmen herbei, sobald ihnen der ungleichnamige Pol hingehalten wird, und fliehen hinweg vor dem gleichnamigen Pol. Man kann eine Nußschale, auf die man mit Wachs eine magnetisirte Nähnadel geklebt hat, schwimmen lassen und dieser eine magnetische Stricknadel nähern.

Versuch b. Der Magnet werde unter die Magnetnadel geschoben, und seine Mitte liege mitten unter der Nadel; welche Stellung muß die Nadel annehmen? Ihr Nordpol wird von dem Nordpol des Magnets abgestoßen und von seinem Südpol angezogen. Der Südpol der Nadel aber begiebt sich ebenso nahe an den Nordpol des Magnets. Daher nimmt die Nadel dieselbe Richtung an, welche der Magnet hat, und zwar so, daß ihre Pole über den ihnen ungleichnamigen Polen des Magnets liegen.

Fig. 170.



§. 134. Untersuchung des Magnetismus und der Pole eines Stahlstücks.

Versuch. Das Gesetz magnetischer Anziehung und Abstoßung giebt ein Mittel an die Hand, um zu prüfen, ob ein Stück Stahl oder nicht geglühtes Eisen magnetisch sei oder nicht, und zugleich zu ermitteln, welches sein Nordpol sei. Man bedient sich dabei der bisher angewandten Magnetnadel. Gesetzt, es sei der Magnetismus einer Nähnadel zu untersuchen, so bringe man alle Stellen derselben nach einander dem Nordpol der Magnetnadel nahe. Ziehen alle Stellen denselben an, so ist die Näh-

nadel nicht magnetisch. Sobald hingegen, was bei nicht wenigen Nadeln der Fall sein wird, eine Abstoßung eintritt, ist die zu prüfende Nadel magnetisch; und zwar muß die Stelle, welche den Nordpol abstößt, ein ihm gleichnamiger Pol, ein Nordpol sein.

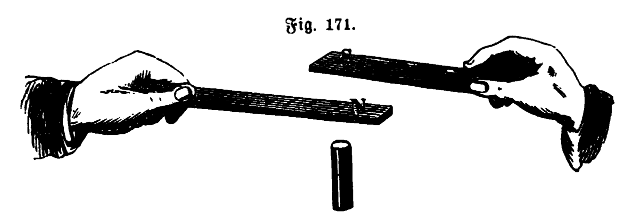
§. 135. Das Vorhandensein von zwei Magnetismen.

Die beiden Pole eines Magnets scheinen auf das Eisen eine und dieselbe Wirkung auszuüben, indem sie es anziehen. Auf den ersten Blick liegt darum die Vermuthung nahe, daß in dem ganzen Magnet eine und dieselbe Kraft, ein einziger Magnetismus, sich rege, der besonders an den Polen thätig sei und in beiden dieselben Wirkungen hervorbringe. Allein einzelne der bisher angestellten Versuche thun dar, daß die Wirkungen der beiden Pole keineswegs einander gleich, sondern einander entgegengesetzt sind. Erstlich wendet sich der Nordpol eines frei beweglichen Magnets nach Norden; dreht man mit der Hand den Südpol nach Norden, so wendet sich derselbe, wenn man ihn losläßt, von dort hinweg, und der Magnet kommt nicht eher zur Ruhe, als bis er seine frühere Stellung wieder eingenommen hat; der eine Pol wendet sich also von einer Himmelsgegend weg, nach welcher der andere sich hinwendet. Zweitens stößt nach dem Gesetz magnetischer Anziehung und Abstoßung der eine Magnetpol ebendasselbe ab, was der andere anzieht. Diese entgegengesetzten Wirkungen können unter sonst gleichen Umständen unmöglich von einer und derselben magnetischen Kraft ausgehen, sondern bezeugen das Vorhandensein von zwei Magnetismen. Der Magnetismus des Nordpols wird der Nordmagnetismus, der des Südpols Südmagnetismus genannt. In der nördlichen Hälfte eines Magnets hat der Nordmagnetismus die Herrschaft, in der südlichen herrscht der Südmagnetismus vor.

§. 136. Aufhören magnetischer Wirkungen bei der Vereinigung beider Magnetismen.

Versuch a. Man stelle sich zwei Magnete her, die von gleicher Stärke sind, indem man in Ermangelung größerer Magnete zwei Stricknadeln

Fig. 171.



nach §. 132 magnetisirt. An den Nordpol des einen Magnets hänge man ein Eisenstück von solchem Gewicht, daß er kaum ein schwereres tragen würde. Darauf nähere man dem Nordpol des ersten Magnets den Südpol

des zweiten Magnets. Alsbald wird das Eisenstück von dem ersten Magnet losgelassen und fällt zu Boden.

Der Südmagnetismus des einen Magnets zieht den Nordmagnetismus des andern an und hält ihn fest. Beide fesseln einander mit ihrer anziehenden Kraft, wie mit einem Bande oder einer Fessel, die der eine um den andern schlingt, und keiner gestattet, daß der andere Magnetismus sich rege oder sich wirksam zeige.

Versuch b. Die beiden gleichen Magnete werden mit den ungleichnamigen Polen auf einander gelegt und mit einem Faden umwickelt. Dadurch hat man an jedem Ende Nordmagnetismus und Südmagnetismus zusammengebracht, so daß sie nur vereinigt wirken können. Bei diesem vereinigten Wirken werden beide zusammen nicht im Stande sein, ein Eisenstück zu tragen, das jeder einzelne Pol allein leicht festhalten würde; sie werden sogar fast gar nichts tragen können. Der eine Magnetismus verringert die Wirkungen des andern und hebt sie ganz auf, wenn beide gleich stark sind.

Gesetz: Bei der Vereinigung beider Magnetismen hebt der eine die Wirkungen des andern auf.

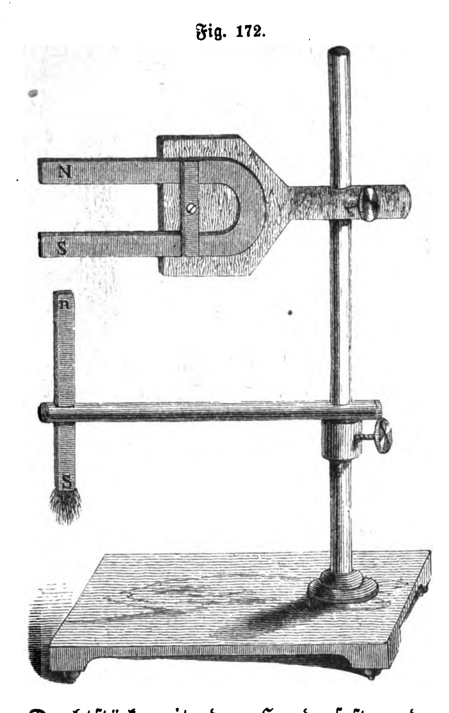
Wenn folglich in irgend einem Eisentheilchen Nordmagnetismus und Südmagnetismus in gleicher Stärke vorhanden sind, so muß dasselbe als unmagnetisch erscheinen und kann keinen Pol einer Magnetnadel abstoßen. Es können daher in einem Körper beide Magnetismen vorhanden sein, ohne daß sich einer von beiden offenbart.

Die magnetische Vertheilung.

§. 137. Erregung von Magnetismus durch die Nähe eines Magnets.

Versuch a. Ein Stück Eisendraht, das man über der Spirituslampe geglüht hat, und das keinerlei magnetische Erscheinungen zeigt, wird mit seinem unteren Ende über Eisenfeilspäne oder recht kleine Stückchen Eisendraht gehalten. Von oben oder von der Seite her nähert man dem oberen Ende des Eisendrahtes den einen Pol eines Magnets, indem man ihn nicht bis zur Berührung nahe bringt, sondern einen Zwischenraum läßt. Das untere Ende des Eisendrahtes wird nunmehr Eisenfeilspäne an sich ziehen. Dies könnte nicht der Fall sein, wenn nicht in dem Eisen Magnetismus vorhanden wäre, der die Anziehung ausübte. Da er sich vorher nicht zeigte, so muß er durch die Nähe des Magnets erregt worden sein. Doch ist von dem Magnet dem Eisen keineswegs

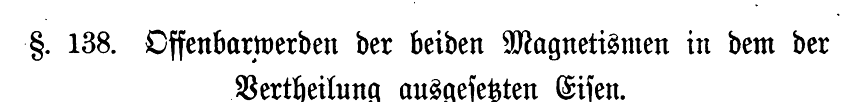
Fig. 172.



Magnetismus mitgetheilt; man entferne den Magnet wieder, und die Späne werden sogleich abfallen; außerdem war ein Zwischenraum zwischen Magnet und Eisen. Wenn aber das Eisen von außen her keinen Magnetismus empfangen und doch magnetische Erscheinungen gezeigt hat, so muß im Eisen von Natur Magnetismus vorhanden sein.

Versuch b. An dem einen Pol eines Magnets hänge ein Drahtstück; in diesem wird durch die Nähe des Magnets Magnetismus erregt, und es trägt ein kleineres Drahtstück. Durch den Magnetismus des ersten Drahtstückes wird das zweite ebenfalls magnetisch und trägt ein drittes, und dieses vielleicht noch ein viertes Eisenstück. Allen diesen ist jedoch keineswegs Magnetismus mitgetheilt; man halte nur das oberste Drahtstück mit der Hand fest und entferne den Magnet; alsbald fällt die ganze Kette aus einander, und kein Glied derselben zeigt noch magnetische Anziehung. Zudem läßt sich der Versuch beliebig oft wiederholen, ohne daß der Magnet von seiner Kraft verliert, was doch der Fall sein müßte, wenn er den Eisenstücken einen Theil seines Magnetismus mittheilte. Vielmehr nöthigt der Magnet nur den in dem Eisen verborgenen Magnetismus, sich zu offenbaren.

Fig. 173.

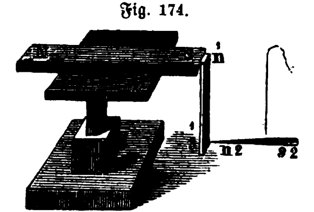


§. 138. Offenbarwerden der beiden Magnetismen in dem der Vertheilung ausgesetzten Eisen.

Versuch a. An den Südpol eines Magnets hänge man einen 5 Cm. langen Eisendraht, oder man bringe dessen oberes Ende nur in die Nähe des Südpols, damit es noch gewisser sei, daß der Magnet dem Drahte keinen Magnetismus mittheilt. Dabei prüfe man nach §. 134 mittels einer Magnetnadel, welcher Magnetismus in dem unteren Ende

des Drahtes erregt ist. Es stößt den Südpol der Nadel ab und zieht den Nordpol an, hat also Südmagnetismus. — Denselben Draht nähere man sodann dem Nordpol des Magnets; das untere Ende des Drahtes zeigt jetzt Nordmagnetismus. Da sich zuvor auch Südmagnetismus in demselben Eisen vorfand, so ist anzunehmen, daß im Eisen von Natur beide Magnetismen vorhanden sind.

Fig. 174.



Bisher haben wir jedesmal nur das untere Ende des Eisens untersucht; das obere zu prüfen, hindert die Nähe des Magnets selber, der auf die Magnetnadel wirken würde. Um den Vorgang vollständig zu beobachten, wählen wir statt des weichen Eisens das harte Eisen, welches eine Verbindung von Eisen und Kohle ist und Stahl genannt wird. Während das weiche Eisen, nachdem es von dem Magnet entfernt ist, gar keinen Magnetismus mehr zeigt, behält der Stahl den Magnetismus, der in ihm durch die Nähe des Magnets hervorgerufen wurde.

Versuch b. An den Südpol des Magnets wird eine stählerne Nähnadel mit ihrer Spitze gehängt und wieder von ihm abgenommen. Die Prüfung dieser Nadel ergiebt, daß ihre an den Südpol des Magnets gehängte Spitze Nordmagnetismus, ihr unteres, dem Südpol ferneres Ende Südmagnetismus hat. — An den Nordpol des Magnets gehängt, zeigt das obere Ende einer zuvor unmagnetischen Nadel Südmagnetismus, ihr unteres Ende Nordmagnetismus. Wiederum treten in dem Eisen beide Magnetismen ans Licht; zugleich erhellt noch deutlicher, daß sie nicht mitgetheilt sind; denn erstlich könnte das Eisen von dem Südpol des Magnets doch nur Südmagnetismus mitgetheilt erhalten, nicht aber beide Magnetismen, und zweitens ist gerade in dem Ende des Eisens, das den Südpol berührt, nicht Südmagnetismus, sondern Nordmagnetismus hervorgerufen. Weil dem Eisen weder von dem Magnet, noch anderswoher beide Magnetismen gegeben sind, so folgt das

Gesetz: In allem Eisen sind von Natur beide Magnetismen vorhanden.

Einer der früheren Versuche, §. 136, hat gelehrt, daß ein Körper, in welchem beide Magnetismen vorhanden sind, in dem Fall als unmagnetisch erscheint, wenn beide gleich stark und vereinigt sind. So ergiebt sich denn, daß in allem unmagnetischen Eisen beide Magnetismen in gleicher Stärke und völliger Vereinigung da sind. An den Südmagnetismus gebunden und gekettet, hält der Nordmagnetismus denselben fest und bewahrt ihn wie einen Gefangenen, der sich nicht regen darf; der Nordmagnetismus selbst hinwieder wird von jenem gebunden gehalten und seiner Wirksamkeit beraubt; beide sind wirkungslos und verborgen.

Da tritt mit der Annäherung eines Magnetpols zwischen die sich gefangen haltenden Magnetismen eine dritte, stärkere Macht. Der Südpol

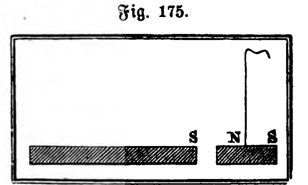
des Magnets in Figur 172 zieht den Nordmagnetismus des Eisens mit größerer Kraft an sich, entreißt ihn den Banden seines Südmagnetismus und stößt diesen von sich ab. Durch die Nähe des Magnets werden auf diese Weise die natürlichen Magnetismen des Eisens getrennt und vertheilen sich dergestalt, daß in der einen Hälfte des Eisens der eine die Herrschaft übt, in der andern der andere vorherrscht. Bei solcher Trennung der natürlichen Magnetismen durch die Annäherung eines Magnets, welche man die magnetische Vertheilung nennt, muß der Magnetismus des Südpols, weil er den Nordmagnetismus herbeizieht, stets in dem benachbarten Ende des Eisens Nordmagnetismus erregen und in dem von ihm abgewandten Ende Südmagnetismus hervorrufen. Durch den Magnetismus des Nordpols werden die natürlichen Magnetismen des Eisens in umgekehrter Weise vertheilt. Darum gilt als

> **Gesetz magnetischer Vertheilung:** Jeder Magnetismus ruft in seiner Nähe den ungleichnamigen Magnetismus hervor.

§. 139. Die Anziehung zwischen einem Magnet und unmagnetischem Eisen als Folge der Vertheilung.

Wenn ein unmagnetisches Eisenstück in die Nähe eines Magnetpols, etwa des Südpols, gebracht wird, so wird es von ihm angezogen. Bevor jedoch die Anziehung erfolgt, erleidet das Eisen eine Vertheilung seiner natürlichen Magnetismen und wird, so lange es in der Nähe des Magnets bleibt, selbst zu einem Magnet. Sein dem Südpol nahe kommendes Ende wird zu einem Nordpol, sein davon entferntes Ende ein Südpol. Und nun zieht der Südmagnetismus des Magnets den ihm näheren Nordmagnetismus des Eisens und mit ihm das Eisenstück an. Der Magnet zieht mithin das Eisen nur darum an, weil es magnetisch geworden ist. Es giebt keine andere magnetische Anziehung, als zwischen ungleichnamigen Magnetismen.

Fig. 175.



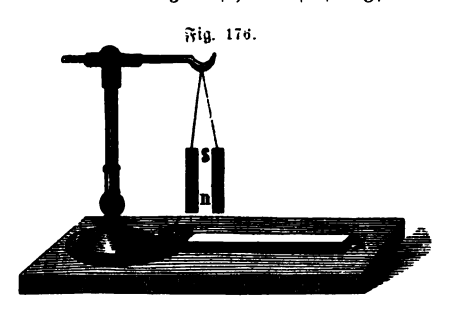
§. 140. Erscheinungen gegenseitiger Anziehung und Abstoßung zwischen den der Vertheilung ausgesetzten Eisenstücken.

Versuch a. Die Platonische Kette. Die Pole eines Magnets von der Form eines Hufeisens liegen einander näher, als bei einem Magnetstabe. Man fertige sich mehrere 2 Cm. lange Drahtstücke oder runde Scheiben aus Weißblech und hänge sie an die Pole des hufeisenförmigen Magnets.

Jede Scheibe trägt noch eine, und diese wieder eine. Die letzten Scheiben aber, die sich am weitesten nach unten befinden, ziehen einander an, und es entsteht eine Kette, die von einem Magnetpol bis zum andern reicht und den Namen der Platonischen Kette erhalten hat. Die am Südpol hängende Scheibe hat unten einen Südpol, die an ihr hängende ebenfalls, und so auch die unterste der am Südpol hängenden Scheiben. Die am Nordpol hängenden Scheiben haben in Folge der Vertheilung unten alle einen Nordpol. Daher zieht die unterste der am Nordpol hängenden Scheiben mit ihrem Nordmagnetismus die unterste der am andern Pol hängenden Scheiben an, welche an ihrer tiefsten Stelle Südmagnetismus besitzt. Nimmt man den Magnet hinweg, so zerfällt die ganze Kette.

Versuch b. Zwei 3 Cm. lange Drähte werden, um Fäden zu befestigen, oben gebogen und dicht neben einander aufgehängt. Von unten her wird ihnen der Pol eines Magnets genähert; sie stoßen einander ihrer ganzen Länge nach ab, und fallen erst wieder zusammen, wenn der Magnet entfernt ist. Es giebt keine andere magnetische Abstoßung, als zwischen gleichnamigen Magnetismen oder gleichnamigen Polen; und diese gleichnamigen Magnetismen werden durch die Nähe des Magnets hervorgerufen. Der von unterwärts genäherte Südpol des Magnets erregt nach dem Gesetz der Vertheilung (§. 138) Nordmagnetismus in den unteren Enden beider Drähte, weshalb sie sich hier abstoßen müssen. Zugleich ruft der Südpol des Magnets in den oberen Enden beider Drähte Südmagnetismus hervor, und darum müssen sie sich auch oben abstoßen. Bei der Entfernung des Magnets hört die Vertheilung der Magnetismen in den Drähten auf, sie kehren in ihren natürlichen, unmagnetischen Zustand zurück und hängen wieder dicht neben einander.

Fig. 176.



§. 141. Anordnung der beiden Magnetismen in den Magneten.

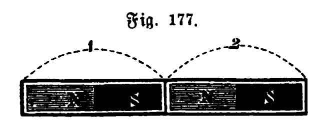
In jedem Magnet sind die beiden Magnetismen von einander getrennt, doch nicht so, wie es den Anschein haben könnte, daß in der einen Hälfte aller Nordmagnetismus, in der anderen aller Südmagnetismus angesammelt wäre. Wenn dies der Fall wäre, so würde man einen Magnet in zwei Theile zerlegen können, deren jeder nur einen Magnetismus hätte.

Versuch. Eine Stricknadel wird nach dem in §. 132 angegebenen Verfahren magnetisirt und darauf in der Mitte durchgebrochen. Untersucht man die einzelnen Hälften, so hat jede einen Nordpol und einen Südpol. Schiebt man die Stücke an der Bruchstelle wieder zusammen, so bilden sie wieder einen einzigen Magnet, der an der Bruchstelle seinen Indifferenzpunkt

hat. Wie der Versuch lehrt, sind in jeder Hälfte eines Magnets beide Magnetismen vorhanden; man kann aber die Hälften in beliebig viele Theile zerbrechen und wird in jedem derselben zwei Pole finden.

Somit sind in jedem magnetischen Stahltheilchen beide Magnetismen vorhanden, nur sind beide so von einander getrennt, daß in allen Theilchen der südliche Magnetismus nach der einen Seite, der nördliche nach der andern hin liegt. Die Zeichnung stellt zwei magnetische Stahltheilchen vor; innerhalb eines jeden hat eine solche Trennung der Magnetismen Statt, daß der nördliche in beiden an den helleren Stellen zur Linken liegt. Wäre das erste Theilchen allein da, so hätte es auf der linken Seite einen Nordpol, auf der rechten einen Südpol. Wird das zweite zu dem ersten hinzugefügt, so bewirkt jedes Theilchen in dem andern eine vollständigere Vertheilung und Trennung der Magnetismen. Dadurch entsteht zur Linken ein stärkerer Nordpol, rechts ein stärkerer Südpol; in der Mitte aber hält der Nordmagnetismus des zweiten Theilchen den Südmagnetismus des ersten fest, hebt seine Wirkungen auf und macht die Stelle zum Indifferenzpunkte.

Fig. 177.



Magnetisiren des Stahls und Erhaltung der magnetischen Kraft.

§. 142. Schwerere, aber bleibende Vertheilung der Magnetismen im Stahl.

Versuch. Man gebe einem Magnet ein Stück weichen Eisens zu tragen, so schwer, als er es zu tragen im Stande ist. Statt dessen bringe man ein Stück Stahl, das ebenso viel wiegt, an den Magnet; er wird es nicht zu tragen vermögen. Nun zieht ein Magnetpol niemals etwas Anderes an, als den ungleichnamigen Magnetismus. Wird Eisen leichter angezogen, so folgt, daß in ihm leichter und schneller eine Vertheilung der Magnetismen bewirkt wird, als im Stahl. Der Stahl setzt der Trennung beider Magnetismen einen Widerstand entgegen. In dem weichen Eisen geht sogleich nach Entfernung des Magnets eine Wiedervereinigung der Magnetismen vor sich; Stahl dagegen bleibt, wie §. 138 b gelehrt hat, magnetisch und leistet der Wiedervereinigung beider Magnetismen Widerstand, nachdem die Trennung einmal eingetreten ist. Vermöge dieser Eigenschaft wird es möglich, Stahl dauernd magnetisch zu machen; da aber in ihm bei Annäherung eines Magnets die Vertheilung schwer vor sich geht, da sie nur nach und nach und nur an den dem Magnet nächsten Stellen erfolgt, so muß man den Magnet mehrmals allen

Stellen des zu magnetisirenden Stahlstabes nahe bringen; das geschieht, indem man den ganzen Stab mehrmals mit einem Magnet streicht.

§. 143. Die Verfahrungsarten beim Magnetisiren von Stahl.

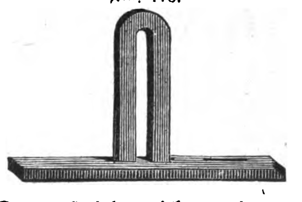
Es sind vornehmlich zwei Arten in Gebrauch, Stahlstäbe durch Streichen zu magnetisiren, der einfache Strich und der Doppelstrich; sie unterscheiden sich dadurch, daß der einfache Strich auf einmal nur mit einem Pole, der Doppelstrich gleichzeitig mit zwei Polen ausgeführt wird. Dazu kommt drittens noch das von Hoffer angegebene Verfahren beim Streichen von hufeisenförmigen Magneten.

1) **Der einfache Strich** ist schon in §. 132 a beschrieben worden. Die Pole des magnetisirten Stabes werden dabei den sie berührenden Polen des Magnets ungleichnamig.

2) **Der Doppelstrich.**

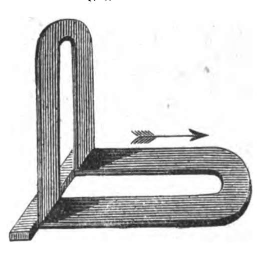
Versuch. Beim Doppelstrich bedient man sich eines hufeisenförmigen Magnets, dessen Pole einander sehr nahe liegen, setzt beide Pole zugleich auf die Mitte des zu magnetisirenden Stahlstabes, etwa einer Stricknadel, auf und streicht mit beiden zugleich bis an das eine Ende des Stabes, dann, ohne den Magnet aufzuheben, zurück und über die Mitte hinaus bis an das andere Ende. In dieser Weise streicht man von einem Ende zum anderen ungefähr zwanzigmal hin und her und hebt zuletzt den Magnet von der Mitte ab, nachdem beide Hälften gleich oft gestrichen sind. — Liegen die Pole des Hufeisenmagnets nicht ganz nahe bei einander, so ist er zur Ausführung des Doppelstrichs nicht geeignet; der damit gestrichene Stab erhält nämlich mehrere Nordpole und Südpole, die der Reihe nach auf einander folgen; solche durch fehlerhaftes Magnetisiren hervorgerufene zahlreiche Pole heißen Folgepunkte.

Fig. 178.



3) **Das Hoffer'sche Verfahren** beim Streichen hufeisenförmiger Magnete. Will man einen Stahl von der Form eines Hufeisens magnetisiren, so legt man vor seine Enden ein Stück weichen Eisens und befestigt das Ganze mit Stiften dermaßen, daß kein Verschieben der Theile möglich ist. Dann setzt man einen hufeisenförmigen Magnet, der gleiche Breite mit dem neuen Magnet haben muß, in lothrechter Stellung auf dessen Enden, schiebt ihn langsam bis über die Krümmung des Stahles hinaus, kehrt im Bogen durch die Luft zu den Enden des Stahles zurück und streicht so zehnmal, stets von seinen Enden bis über seine Krümmung hinaus. Darauf thut man wohl, den neuen Magnet mit vorgelegtem Eisenstück unberührt mehrere Tage liegen zu lassen.

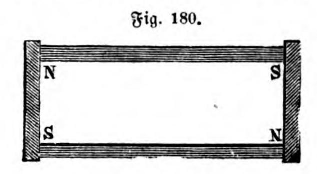
Fig. 179.



§. 144. Erhaltung und Vermehrung der magnetischen Kraft.

Um einem Magnet seine Kraft zu erhalten, muß man ihn so aufbewahren, daß seine Pole in geeigneter Weise mit weichen Eisenstücken in Berührung sind; seine Magnetismen bleiben dann fortwährend in Thätigkeit, indem sie in dem Eisen eine magnetische Vertheilung bewirken.

Fig. 180.



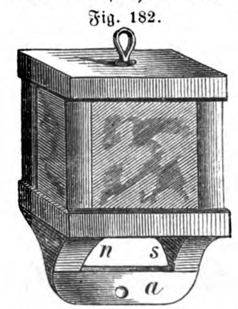
a. **Gerade Magnetstäbe** bewahrt man paarweise auf und legt zwei derselben in einiger Entfernung horizontal neben einander, doch so, daß der Nordpol des einen dem Südpol des andern gegenüber liegt. An jedes Paar dieser ungleichnamigen Pole wird dann ein weiches Eisenstück gelegt, in welchem der Nordpol des einen und der Südpol des andern Magnets vertheilend thätig bleiben muß.

b. **Hufeisenmagnete** werden einzeln aufbewahrt; das weiche Eisenstück, welches vor die Pole eines Hufeisenmagnets gelegt wird, heißt der Anker.

Fig. 181.

Er soll oben, wo er die Pole berührt, abgerundet sein und mit ihnen nur in wenigen Punkten in Berührung kommen; häufig wird er in der Mitte durchbohrt, um einen Haken einhängen zu können. Der Hufeisenmagnet behält seine Kraft, wenn er liegend mit vorgelegtem Anker aufbewahrt wird. Seine Tragkraft läßt sich aber noch erhöhen, indem man den Magnet aufhängt, an seinen Anker eine Wageschale oder eine an drei Fäden hängende Schachtel befestigt und in dieselbe von Tag zu Tag zu der frühern Belastung noch ein kleines Gewicht, ein Schrotkorn, hinzufügt. Doch muß man bei Vermehrung der Belastung vorsichtig verfahren, damit der Anker nicht abgerissen werde; durch das Losreißen des Ankers verliert der Magnet an Tragkraft, und es dauert längere Zeit, bis dieselbe wieder hergestellt ist. Hat man bei Anstellung von Versuchen den Anker vom Magnet abzunehmen, so darf man ihn deshalb nicht abreißen, sondern man zieht ihn von der Seite her langsam hinweg, so daß er vor den Polen vorbeigleitet, als sollte er mit ihnen gestrichen werden.

Fig. 182.



c. **Natürliche Magnete**, deren Kraft erhalten und vermehrt werden soll, erhalten eine Armatur. Der Magnetstein wird zuerst in Eisenfeilspäne gelegt, damit sich seine Pole durch stärkere Anziehung derselben zu erkennen geben. Die Polflächen schleift man eben, entfernt auch von den andern Flächen des Steines die hervorragenden Stellen und giebt ihm im Ganzen die Gestalt eines Würfels. Dann werden an die Polflächen zwei Eisenplatten gelegt, die unten mit zwei starken Eisenzapfen, den Füßen der Armatur, versehen sind, und durch umgewickelten Messingdraht

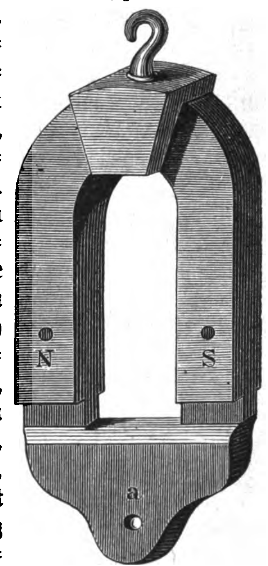
an den Magnet befestigt. Das Ganze pflegt man mit einem würfelartigen Gehäuse aus Messing zu umschließen, aus welchem oben ein Ring zum Aufhängen des armirten Magnetsteines und unten die eisernen Füße der Armatur hervorragen. Die Füße werden in Folge der in ihnen und den Eisenplatten stattfindenden Vertheilung die Pole des Magnets und bekommen, gleich einem Hufeisenmagnet, einen Anker zu tragen. Durch eine zweckmäßige Armatur gewinnt ein Magnetstein ganz beträchtlich an Tragkraft.

§. 145. Größere Kraft magnetischer Magazine.

Versuch. Man magnetisire nach einander mehrere gleiche Stricknadeln und sehe zu, wie viel eine einzelne derselben trägt. Darauf lege man zwei oder drei so zusammen, daß ihre Nordpole neben einander liegen, und umwickele die Nadeln nach der Mitte zu mit einem Faden. Diese Verbindung von mehreren magnetischen Nadeln wird mehr tragen und ein hängendes Eisenstück aus größerer Entfernung anziehen, als jede einzelne Nadel. Die zusammengelegten Nadeln wirken also, wie ein einziger Magnet von größerer Kraft, und bilden im Kleinen ein magnetisches Magazin.

Ein magnetisches Magazin ist eine Verbindung von mehreren Magneten. Jeder Magnet wird vorher einzeln magnetisirt, darauf werden sie mit den gleichnamigen Polen zusammengelegt und durch Schrauben oder Bänder von Messing an einander befestigt. Die einzelnen Magnete eines Magazins pflegt man mit einem Worte, das ursprünglich eine dünne Metallplatte bedeutet, Lamellen zu nennen. Die Anzahl der zusammengelegten Lamellen kann eine gerade oder eine ungerade sein. Bei einer geraden Anzahl von Lamellen macht man die einzelnen gleich groß, höchstens $\frac{1}{3}$ M. lang, und legt sie so auf einander, daß ihre Polflächen eine ebene Fläche bilden. Verwendet man dagegen zu einem magnetischen Magazin eine ungerade Anzahl, 5 oder 7 Lamellen, so giebt man der mittelsten die größte Stärke und Länge; die zu beiden Seiten derselben liegenden werden etwas kürzer, die äußersten noch kürzer gearbeitet. Die Pole der einzelnen Lamellen liegen dann nicht in einer ebenen Fläche, sondern führen von beiden Seiten stufenartig zu den hervorragenden Polen der mittelsten Lamelle, an welche der Anker gelegt wird, und in welchen, wie die Erfahrung gelehrt hat, die gesammte Kraft des ganzen Magazins sich vereinigt. Anwendung finden die magnetischen Magazine bei der Anker-

Fig. 183.



tigung der Magneteleſtrifirmaſchinen (§. 228). Es geben aber nicht alle Stahlſorten kräftige Magnete; beſonders eignen ſich der holländiſche Brillenſtahl und der Solinger Klingenſtahl zu künſtlichen Magneten.

§. 146. Schwächung der magnetiſchen Kraft durch die Wärme.

Nicht bloß durch plötzliches Losreißen des Ankers und durch Liegenlaſſen ohne Anker wird die Kraft eines Magnets verringert, ſondern auch durch Erſchütterung, mag ſie nun durch Stoßen oder durch Reiben mit einem harten Körper hervorgebracht werden, und beſonders durch Erwärmung.

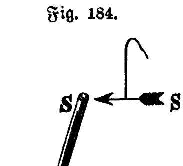
Verſuch. Eine magnetiſche Stricknadel werde mit ihrem einen Ende durch den Kork einer Flaſche geſteckt, und ihrem anderen Pole gebe man ein hinreichend großes Eiſenſtück zu tragen. Darauf erwärme man die Nadel durch eine untergeſtellte Spirituslampe. Bald wird ſie das Eiſen nicht mehr tragen können und es loslaſſen. Ihre magnetiſche Kraft wird durch die Erwärmung ſo ſehr verringert, daß ſie auch, nachdem ſie wieder erkaltet iſt, bei Weitem nicht mehr ſo viel zu tragen vermag.

Der Erdmagnetismus.

§. 147. Durch den Erdmagnetismus bewirkte Vertheilung.

Verſuch. Eine 1 M. lange Eiſenſtange von der Stärke eines Fingers läßt man im Kohlenfeuer ſtark durchglühen und langſam abkühlen, indem man ſie erſt nach dem Erlöſchen des Kohlenfeuers aus demſelben nimmt. Sie wird nachher wagerecht auf eine weiche Unterlage, etwa auf Papier, gelegt und darf ſich in dieſer Lage an keiner Stelle magnetiſch zeigen. Sollte dies dennoch der Fall ſein, ſo iſt das Eiſen nicht hinlänglich weich geworden und muß noch einmal geglüht werden. Hält man nun die Eiſenſtange in faſt lothrechter Stellung mit dem unteren Ende nach der nördlichen Gegend der Erde zu, und nähert zuerſt dem tiefſten Punkt der Stange eine hängende Magnetnadel (§. 132 a), ſo wird ihr Nordpol von demſelben abgeſtoßen; folglich hat die tiefſte Stelle der gegen die Erde gerichteten Stange Nordmagnetismus. Bringt man die Nadel der oberſten Stelle der Eiſenſtange nahe, ſo findet ſich an derſelben Südmagnetismus. Wenn man ferner die Eiſenſtange umkehrt und das vorher

Fig. 184.



nach oben gekehrte Ende nach unten wendet, so wird es hier nordmagnetisch. In wagerechter Lage dagegen wird die Stange kaum eine Spur von magnetischen Erscheinungen wahrnehmen lassen.

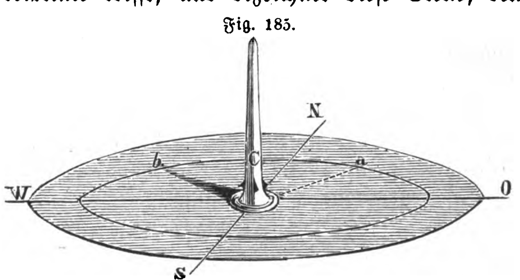
Wir haben hier dieselbe Erscheinung, die an weichem Eisen in der Nähe eines Magnetpols zu beobachten ist; durch seinen Einfluß werden die Magnetismen des Eisens vertheilt; von ihm entfernt, erscheint es unmagnetisch. So erhält die Eisenstange, sobald man sie einem im Norden liegenden Punkte der Erde zuwendet, an dem ihm zugekehrten Ende Nordmagnetismus, an dem andern Südmagnetismus. Es geht in ihr eine durch die Erde bewirkte magnetische Vertheilung vor; die Erde wirkt, wie ein großer Magnet, in dessen nördlichem Theile südlicher Magnetismus vorherrscht. — Es läßt sich der Versuch auch mit einem Bündel aus dünnen, wiederholt ausgeglühten Drähten anstellen, welches die Stärke eines Fingers und die Länge von 12 Cm. hat.

§. 148. Die Declination oder Abweichung der Magnetnadel.

Ein zweiter Umstand, welcher das magnetische Verhalten der Erde darthut, ist die Erscheinung, daß ein wagerecht schwebender Magnet oder eine Magnetnadel eine bestimmte Richtung in der Weise annimmt, daß von der Nordgegend ihr Nordpol angezogen, und ihr Südpol abgestoßen wird. Da nun eine magnetische Abstoßung nur zwischen gleichnamigen Magnetismen Statt hat, so weist diese Erscheinung gleichfalls darauf hin, daß die Erde als ein Magnet anzusehen ist, in dessen nördlichen Gegenden der Südmagnetismus vorherrscht.

Versuch. Um die Richtung der Magnetnadel genauer zu bestimmen, muß man eine Mittagslinie ziehen. Man zeichnet auf einer wagerechten Fläche, auf einem Fensterbrette, einen Kreis und stellt in seinem Mittelpunkte einen lothrechten Stift auf. Zu einer Zeit des Vormittags beobachtet man dann, an welcher Stelle das Ende des von dem Stifte geworfenen Schattens die Kreislinie trifft, und bezeichnet diese Stelle, den Punkt b, durch einen Strich. Ist dies beispielsweise zwei Stunden vor Mittag geschehen, so wird die Sonne zwei Stunden nach Mittag eben so hoch stehen, und einen gleich langen Schatten des Stiftes bewirken; das Ende seines Schattens

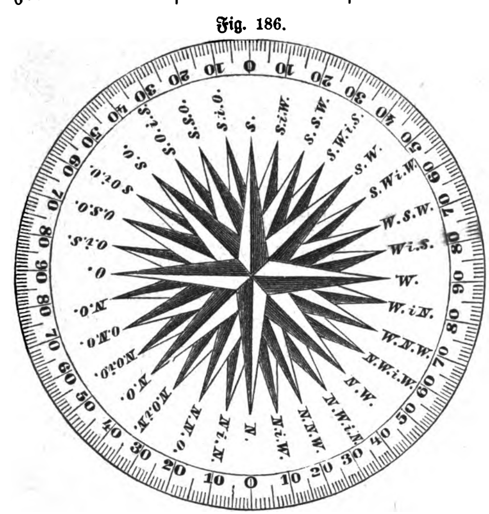
Fig. 185.



möge die Kreislinie in dem Punkte a berühren, der auch bezeichnet wird. In beiden Zeiten war die Sonne gleichweit vom Meridian entfernt, und diese ihre Stellung hatte zur Folge, daß der Schatten des Stiftes des Vormittags eben so weit nach Westen von der Mittagslinie abgewichen ist, als er Nachmittags nach Osten abwich. Die wahre,

durch den Mittelpunkt des Kreises gehende Mittagslinie muß also mitten zwischen den Durchschnittspunkten des Schattens und der Kreislinie a und b hindurchgehen. Man halbire den Bogen zwischen beiden Punkten mit Hülfe eines Cirkels und ziehe von dem Halbirungspunkte eine gerade Linie durch den Mittelpunkt des Kreises. Diese Linie, die man durch eingestochene Punkte markiren kann, ist die Mittagslinie für den Ort des Beobachters und trifft, wenn sie verlängert wird, den Horizont im Nordpunkt und Südpunkt. Man halte nun eine Magnetnadel über der Mittagslinie, und der Faden, an dem sie hängt, befinde sich lothrecht über einem Punkte derselben. Es zeigt sich, daß die Nadel keineswegs genau nach Norden weist; sondern ihr Nordpol weicht von dem Nordpunkt nach Westen hin ab. Diese Abweichung der Magnetnadel von der Mittagslinie heißt die Declination oder Abweichung derselben. Legt man den Mittelpunkt eines in Grade getheilten Kreises (oder eines Transporteurs), dessen Durchmesser der Länge der Nadel gleichkommt, auf einen Punkt der Mittagslinie, so läßt sich abschätzen, wie groß die Declination oder wie groß der Bogen ist, um welchen die Magnetnadel nach Westen abweicht. Die Declination beträgt in unseren Gegenden 12 Grad; man muß darum von dem durch den Nordpol der Magnetnadel angegebenen Punkte um einen Bogen von 12 Grad nach Osten hin gehen, um den Nordpunkt zu finden.

Fig. 186.



§. 149. Der Compaß.

Durch die Kenntniß von der Declination der wagerecht schwebenden Magnetnadel wird man in den Stand gesetzt, dieselbe zur Auffindung der Himmelsgegenden zu benutzen. Die zur Bestimmung der Himmelsgegenden mit Hülfe der Magnetnadel dienende Vorrichtung wird ein Compaß genannt und besteht aus zwei wesentlichen Stücken, aus einer Windrose und einer Magnetnadel. Die Windrose, welche Figur 186 darstellt, ist ein in Grade getheilter Kreis, auf welchem die Himmelsgegenden verzeichnet sind. Die Magnetnadel ist aus dünnem Stahlblech gefertigt, in der Mitte breiter und nach beiden Enden spitz zulaufend. Damit sie zum Transport geeignet sei, wird die Magnetnadel nicht an einem Faden aufgehängt, sondern sie schwebt auf einer Spitze. Mitten

in die Nadel ist ein hohles Hütchen von Messing oder von Achat eingesetzt, und dies wird auf eine lothrecht stehende stählerne Spitze gesetzt, auf welcher die Nadel sich leicht nach rechts und links bewegen kann. Die Zeichnung 187 zeigt die Nadel. In dem **gewöhnlichen Compaß,** der zu Lande gebraucht wird, um sich zu orientiren oder Winkel zu messen, ist die Windrose auf dem Boden eines messingenen Gehäuses befestigt, und in ihrem Mittelpunkt ist die Stahlspitze aufgestellt, auf der die Magnetnadel schwebt. Oben wird das Gehäuse mit einer Glasscheibe überdeckt, zum Schutz gegen Staub und Luftzug. Die Vorrichtung ist so zu stellen, daß der Nordpunkt der Windrose in unseren Gegenden 12 Grad östlich von dem Nordpol der Nadel liegt; dann giebt die Windrose die Himmelsgegenden an. Der **Seecompaß** erhält wegen der Schwankungen des Schiffes eine etwas andere Einrichtung; seine Windrose, die auf eine dünne Scheibe von Glimmer oder Pappe gezeichnet wird, ist nicht unbeweglich, sondern mit ihrer Mittagslinie auf die Magnetnadel gelegt und damit fest verbunden, sie wird von ihr getragen und dreht sich zugleich mit ihr. Nadel und Windrose ruhen auf einer lothrechten Spitze und sind in ein kupfernes, mit Glas überdecktes Gehäuse eingeschlossen, welchem durch eine auf seinen unteren Boden eingegossene schwere Bleimasse und durch seine Aufhängungsweise die lothrechte Stellung gesichert ist. Das Gehäuse hängt nämlich an zwei Zapfen rechts und links in einem wagerechten Ringe, und dieser hängt wieder an zwei Zapfen auf der dem Beobachter zugewandten und abgewandten Seite innerhalb eines weiteren Ringes. Den in dem Compaßhäuschen aufgehängten Compaß zu beobachten und aus seiner jedesmaligen Stellung und aus der Größe der Declination die Himmelsgegenden zu bestimmen, ist Sache des Steuermannes.

Fig. 187.

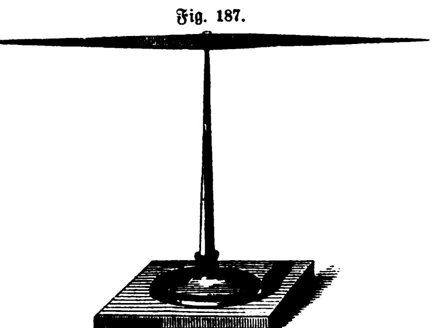
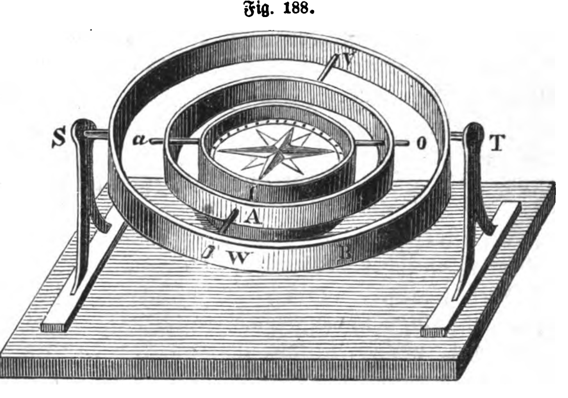


Fig. 188.



Den Gebrauch des Compasses hat das Abendland, wie die anfänglich gebräuchlichen arabischen Namen für den Nordpol und Südpol der Magnet-

nadel beweisen, von den Arabern, spätestens im 12. Jahrhundert, erhalten, und diese verdanken ihn den Chinesen. Vor Christi Geburt verfaßte Geschichtswerke der Chinesen erwähnen die magnetischen Wagen, welche einer ihrer Kaiser ungefähr tausend Jahre früher den Gesandten aus Hinterindien geschenkt hatte, damit sie auf der Rückreise ihren Landweg nicht verfehlen möchten. Im Jahre 1100 vor Chr. war diese Gesandtschaft am Hofe des chinesischen Kaisers Tsching-Wang erschienen und äußerte die Besorgniß, ob es ihr gelingen werde, den weiten Weg nach Hause zu finden. Da soll ihnen der Kaiser fünf magnetische Wagen geschenkt haben; darin waren kleine, mit Federn bekleidete Figuren angebracht, deren einer Arm ein beweglicher Magnet war und nach Süden wies. Durch diese magnetischen Wegweiser geleitet, kamen die Gesandten wohlbehalten nach ihrer Heimat. Im vierten Jahrhundert nach Christi Geburt wandten die Chinesen den Compaß bereits zur See an, um ihre Fahrten auf offenem Meere sicher zu leiten; weil aber ihre Schiffe fast immer ihren Lauf nach Süden richteten, sagten sie stets, es zeige die Magnetnadel nach Süden. Durch chinesische Schiffer verbreitete sich die Kenntniß des Compasses nach Ostindien, und von da zu den Arabern, durch welche sie nach Europa gelangte. Hier erwähnt zuerst ein französischer Dichter, welcher 1181 bei dem berühmten Hoflager Kaiser Friedrichs I. in Mainz anwesend war, Guyot von Provins, in einem die „Rose" benannten Gedichte die Eigenschaft der Magnetnadel und spricht davon als von einer ganz bekannten Sache. Irrthümlich hat man dem Flavio Gioja aus dem schönen und durch seine Seegesetze berühmten Amalfi, der um das Jahr 1300 lebte, die Erfindung des Compasses zugeschrieben, was seinen Grund darin haben mag, daß derselbe wahrscheinlich irgend eine Vervollkommnung der Vorrichtung angegeben. Durch Anwendung des Compasses sind die großen Entdeckungsreisen zur See, welche in jene Zeit fallen, möglich geworden.

§. 150. Westliche und östliche Declination.

Auf seiner ersten Entdeckungsreise im Jahre 1492 fand Columbus auf dem atlantischen Ocean eine Linie, auf welcher die Magnetnadel genau nach Norden zeigte, auf der sie mithin gar nicht von der Mittagslinie abwich, und diese Linie ohne Abweichung war es, die er, nach Europa zurückgekehrt, als Grenzlinie zwischen den westlich davon gelegenen spanischen und den portugiesischen Besitzungen festsetzen ließ. Die Linie ohne Abweichung geht durch die Hudsonsbai, den östlichen Theil Nordamerikas und die Ostspitze Südamerikas; auf der andern Halbkugel läuft sie mitten durch Neuholland, die Ostspitze Arabiens, durch das caspische und das weiße Meer. Die ganze Erdoberfläche wird durch diese Linie in zwei Hälften, eine östliche und eine westliche, getheilt. Auf der östlichen Hälfte, zu welcher der atlantische Ocean, Europa und Afrika gehören, ist die Abweichung eine westliche; auf der westlichen Hälfte dagegen, welche fast ganz Asien, den großen Ocean und fast ganz Amerika umfaßt, ist die

Abweichung eine östliche. Die Declination ist ferner an verschiedenen Orten verschieden groß und im Westen Europas beträchtlicher, als im Osten, und sie verändert sich an einem und demselben Orte im Laufe der Jahre.

§. 151. Die Inclination oder Neigung der Magnetnadel.

Bei der Anfertigung von Magnetnadeln bemerkten die Künstler bald, daß die Nadeln, obschon sie in unmagnetischem Zustande vollkommen wagerecht geschwebt hatten, nach dem Magnetisiren, von dem Südmagnetismus der Erde angezogen, ihren Nordpol hinabsenkten; man half diesem Uebelstande ab, indem man die nördlichen Enden der Nadeln leichter arbeitete.

Versuch. Man hängt eine unmagnetische Stahlnadel in ihrem Schwerpunkt so auf, daß sie sich nach oben und unten frei bewegen kann. Um das auf eine leichte Weise auszuführen, nimmt man eine nicht magnetische Stricknadel und schiebt sie von rechts nach links durch einen Kork; von der dem Beobachter abgewandten und der ihm zugewandten Seite werden bis in die Mitte des Korks zwei Nadeln gesteckt, welche, in ein Gestell oder auf zwei Trinkgläser gelegt, die Drehungsaxe der ersten Nadel bilden. Die erste Nadel ist so in den Kork zu schieben, daß ihre beiden Enden gleich lang sind, und sie in der wagerechten und in jeder andern Stellung sich im Gleichgewicht befindet. Hat man dies erreicht, so magnetisirt man diese Nadel nach dem Verfahren des einfachen Strichs, wobei man, um ein Verschieben des Korks zu verhüten, beim Streichen der rechten Hälfte die linke in der Hand hält und umgekehrt. Die Axe ist so auf ihre Träger zu legen, daß die Nadel mit ihrem Nordpol eben dahin weist, wohin eine wagerecht schwebende Magnetnadel zeigt. Alsdann wird das nördliche Ende der Nadel sich senken, und sie wird eine schräge, gegen den Horizont geneigte Stellung annehmen. Die Neigung der Magnetnadel gegen den Horizont oder ihre Abweichung von der wagerechten Richtung heißt ihre Inclination oder Neigung. In unseren Gegenden beträgt die Inclination 66 Grad, und die Stellung der nach oben und unten sich frei bewegenden Magnetnadel, der Inclinationsnadel, ist nur um 24 Grad von der lothrechten Stellung verschieden. Bringt man sie aus dieser Stellung, so kehrt sie nach einigen Schwingungen in dieselbe zurück.

Fig. 189.

S

N

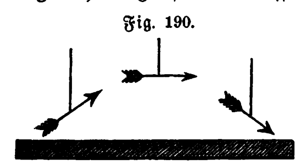
Erfunden ist die Inclinationsnadel durch den englischen Seemann und Mechaniker Robert Normann 1576; er machte auf seinen Seereisen die Beobachtung, daß das Nordende einer Declinationsnadel sich senkte, und stellte eine Nadel mit wagerechter Axe her, die sich frei beweglich heben und senken konnte. Die Verfertigung einer guten Inclinationsnadel ist wegen der dabei zu beobachtenden Genauigkeit eine schwierige Arbeit.

§. 152. Nördliche und südliche Inclination.

Die Inclinationsnadel erhält ihre Stellung durch den großen Magnet, über welchem sie schwebt, und welchen wir Erde nennen. Eine über einem Magnet schwebende Nadel muß aber sehr verschiedene Stellungen annehmen, je nachdem sie sich über den nördlichen oder südlichen Stellen desselben befindet.

Versuch. Versinnlichen wir uns die magnetische Wirkung der Erde durch einen Magnetstab (oder eine magnetisirte Stricknadel), den wir wagerecht legen, und dessen Südpol wir nach Norden wenden, weil in dem nördlichen Theile der Erde der südliche Magnetismus vorherrscht. Hält man nun eine, wie bei dem vorhergehenden Versuch, aufgehängte oder zur Noth eine an einem Faden hängende kleine Magnetnadel über der Mitte des Magnets, so schwebt sie hier wagerecht und hat gar keine Inclination; über dem nach Norden gerichteten südmagnetischen Ende des Magnets senkt sich der Nordpol der Nadel, über dem andern Ende ihr Südpol; über beiden Polen des Magnets aber nimmt die Nadel lothrechte Stellung an.

Fig. 190.



So geht innerhalb der heißen Zone mit im Ganzen östlicher Richtung um die Erde eine unregelmäßig gekrümmte Linie ohne Inclination, über der die Inclinationsnadel wagerecht schwebt; diese Linie durchschneidet den geographischen Aequator in zwei Punkten, im atlantischen Ocean der Westküste von Afrika gegenüber und im großen Ocean östlich von Neu-Guinea, und wird der magnetische Aequator genannt. Auf der nördlich vom magnetischen Aequator gelegenen Erdhälfte senkt sich das Nordende der Inclinationsnadel, auf der südlichen Erdhälfte ihr Südende. Die Neigung wird desto größer, je weiter man sich von dem magnetischen Aequator nach Norden oder Süden entfernt; und zwei Punkte, die magnetischen Pole der Erde, giebt es, über denen die Inclinationsnadel sich lothrecht stellt. Der im Norden liegende magnetische Pol der Erde ist durch Capitain John Roß im Jahre 1831 aufgefunden und liegt nördlich von Amerika, auf Boothia Felix. Zehn Jahre später gelang es dem Sohne des eben genannten Nordpolfahrers, James Roß, den magnetischen Pol der südlichen Erdhälfte zu finden; dieser liegt weit südwärts von Neuholland, auf Victorialand, zwischen zwei sich nahe dem Ufer erhebenden hohen Vulkanen, welche ihr Entdecker nach den Namen seiner Schiffe Erebus und Terror genannt hat.

Wie die Declination, so verändert sich im Laufe der Zeit auch die Inclination und die Lage der Pole; daher macht der Erdmagnetismus unausgesetzte Beobachtungen nöthig.

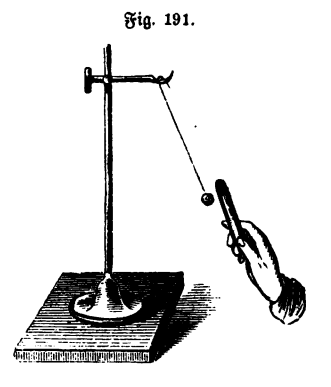
Die Reibungselektricität.

Die elektrischen Grunderscheinungen.

§. 153. Anziehung leichter Körper durch einen elektrisirten Körper.

Versuche. Aus dünnem Briefpapier schneide man ein rundes Scheibchen von 1 Cm. Durchmesser und befestige dasselbe an einen dünnen, einenen oder baumwollenen Faden. Dann nehme man eine gewöhnliche Siegellackstange, halte sie an ihrem einen Ende mit der Hand und reibe sie mit einem Stückchen Tuch oder anderem wollenen Zeuge. Behält man nun die Siegellackstange in der rechten Hand, faßt mit der andern den Faden, an dem unten das Papierscheibchen hängt (oder hängt es auf), und nähert ihm den geriebenen Siegellack, so wird das Papierscheibchen von demselben angezogen. Allmählich wird die Anziehung schwächer und hört endlich ganz auf; um sie wieder hervorzurufen, muß die Siegellackstange abermals gerieben werden. — Man lege auf den Tisch kleine Stücke von einem Strohhalm, von einem leinenen Faden, von der Fahne einer Feder und Stückchen Kork, die man von einem Kork abgefeilt hat. Alle diese kleinen und leichten Körper werden, wenn man ihnen die geriebene Siegellackstange nahe bringt, von derselben angezogen.

Fig. 191.



Durch Reiben wird in dem Siegellack eine anziehende Kraft erregt. Die Alten kannten dieselbe nur an dem Bernstein, der in der griechischen Sprache Elektron hieß. Man bezeichnete daher die Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins mit dem Namen Elektricität, und einen Körper, der durch Reiben diese Anziehungskraft erlangt hat, nennt man einen elektrischen oder elektrisirten Körper. Ein solcher zieht alle Arten kleiner und leichter Körper an, ganz gleich, aus welchem Stoff sie bestehen; besonders leicht sind kleine Kugeln aus dem Mark der Sonnen-

blume (Helianthus) und der Binsen, das man sich zur Zeit des Herbstes verschaffen muß. Die Mechaniker liefern das Dutzend leichter Markkugeln zu $^1/_2$ Mark.

§. 154. Anziehung eines elektrisirten Körpers durch einen nicht elektrisirten.

Siegellack und Bernstein sind nicht die einzigen Körper, die durch Reiben elektrisch werden; auch Glas, Schwefel, Harz, Papier erhalten auf diese Weise starke elektrische Kraft, und bei geeignetem Verfahren kann man alle Körper ohne Ausnahme durch Reiben elektrisiren. §. 165.

Versuch a. Ein Streifen Schreibpapier, fast 3 Cm. breit und 14 Cm. lang, werde stark durchwärmt, indem man ihn auf den geheizten Ofen legt oder über einem Lichte oder einer Lampe vorsichtig hin und her bewegt. Darauf lege man ihn auf den Tisch, halte das eine Ende des Streifens mit der linken Hand fest und reibe ihn mit einem Stück von elastischem Gummi. Nachdem man mit dem Gummi über den Papierstreifen seiner Länge nach mehrere Mal in derselben Richtung hingestrichen hat, wird er auf der Tischplatte ziemlich fest sitzen. Reißt man ihn los und nähert ihn der Wand, so wird er von derselben angezogen und bleibt daran hängen. Vor jedem Reiben mit Gummi muß das Papier von Neuem erwärmt werden.

Versuch b. Man erwärmt einen ähnlichen Streifen von Stroh- oder Seidenpapier, hält sein oberes Ende mit der linken Hand so, daß er lothrecht hängt, und reibt ihn mit den beiden ersten Fingern der rechten Hand, zwischen denen er hängt, schnell mehrere Mal in der Richtung von oben nach unten. Nähert man dem so geriebenen Streifen die Fläche der rechten Hand, so wird er von dieser angezogen.

Versuch c. Aus der Apotheke beziehe man für 10 Pfennige Collodium, das durch Auflösung von Schießbaumwolle in Aether hergestellt wird und wegen seiner Entzündlichkeit einer Flamme nicht zu sehr genähert werden darf. Auf eine Glasscheibe wird etwas von der Flüssigkeit gegossen und durch Schwenken so ausgebreitet, daß sie einen länglichen Streifen bedeckt. Ist die Masse trocken geworden, dann löst man sie behutsam von dem Glase los. Der dünne Collodiumstreifen, den man auf diese Weise erhält, wird nicht erwärmt, sonst aber ebenso behandelt, wie das Seidenpapier. Er wird stark angezogen werden.

Wenn die Versuche in §. 153 zeigen, daß ein elektrisirter Körper leichte Körper anzieht, so lehren die eben angestellten Versuche, daß auch umgekehrt ein elektrisirter Körper von einem nicht elektrischen Körper angezogen wird. Die Anziehung ist eine gegenseitige, und es gilt das

Gesetz: Ein elektrischer und ein nicht elektrischer Körper ziehen sich gegenseitig an.

§. 155. Der elektrische Funke.

Versuch a. In einem geheizten Zimmer oder bei heiterem, warmem Wetter reibt man Abends im Dunkeln eine Stange Siegellack mit wollenem Zeuge; während man sie mit der einen Hand festhält, schließt man die andere und nähert den Knöchel eines ihrer Finger der Siegellackstange. Zwischen dem Knöchel und dem Siegellack wird sich ein Funke zeigen, den ein schwaches Geräusch, ein Knistern, begleitet. Auch bei Tage lassen sich aus Siegellack Funken erhalten; nur gehört dann größere Aufmerksamkeit und Uebung dazu, um sie wahrzunehmen.

Versuch b. Ein Quartblatt Schreibpapier wird auf dem Ofen oder auf einer Kochmaschine stark durchwärmt und dann auf einem Tische ebenso, wie der früher angewandte Papierstreifen, mit elastischem Gummi gerieben. Nach dem Reiben sitzt das Papier auf dem Tische fest und ist elektrisch geworden. Man faßt es rechts und links mit beiden Händen an, hebt es schnell vom Tisch empor und läßt die eine Hand los. Nähert man darauf der Mitte des Papierblattes etwas schnell den Knöchel eines Fingers, so sprüht ihm ein auch bei Tage deutlich wahrnehmbarer Funke entgegen, in einem trocknen und warmen Zimmer schon in 2 Cm. Entfernung. Weniger gut gelingt der Versuch, wenn man das Papier durch Hin- und Herbewegen über einer Spirituslampe erwärmt.

§. 156. Das spinngewebeähnliche Gefühl in der Nähe eines elektrisirten Körpers.

Versuche. Ein Quartblatt Schreibpapier werde erwärmt und durch Reiben elektrisirt. Beim Losreißen vom Tische fasse man es mit beiden Händen, halte es gespannt und bewege es dicht vor dem Gesicht, von der Stirn langsam abwärts. Man hat dabei eine Empfindung, als ob man in Spinngewebe gerathen wäre. Dasselbe Gefühl hat man in geringerem Maße, wenn man eine geriebene Siegellackstange über der Rückseite der Hand langsam hin- und herbewegt; man sieht dabei, daß die kurzen Haare auf der Haut von dem elektrischen Körper angezogen werden, und daß ihre Bewegung die Ursache jener Empfindung ist.

§. 157. Der Geruch nach Ozon.

Versuch. Nachdem das gebrauchte Blatt Papier mehrmals erwärmt und gerieben und durchaus trocken geworden ist, erwärme und reibe man es so stark, als möglich. Wenn man es dann mit beiden Händen gespannt hält und daran riecht, bemerkt man einen phosphorähnlichen Geruch, vergleichbar dem der Streichhölzchen. Dieser Geruch rührt davon her, daß durch die Elektricität ein Theil des in der Luft vorhandenen Sauerstoffs verändert und in einen Zustand versetzt ist, in welchem er sich

durch seinen Geruch und durch die Fähigkeit auszeichnet, sich leichter mit anderen Stoffen zu verbinden. Man hat den Sauerstoff, der sich durch diese Eigenschaften unterscheidet, activen Sauerstoff oder Ozon genannt.

Leitung der Elektricität.

§. 158. Das Probirblättchen.

Wenn wir prüfen wollen, ob ein Körper elektrisch ist oder nicht, so sehen wir zu, ob er die elektrischen Grunderscheinungen zeigt; wir versuchen, ob er leichte Körper anzieht, oder ob wir aus ihm Funken erhalten. An kleineren Körpern aber oder an solchen, die nur schwache Elektricität besitzen, werden nicht leicht Funken, auch nicht das spinngewebeähnliche Gefühl oder der Ozongeruch wahrgenommen. Auch die Anziehung ist bei kleineren elektrisirten Körpern so schwach, daß von ihnen ein Papierscheibchen nicht deutlich angezogen wird und sich nicht zu ihnen hinbewegt. Man bedarf deshalb eines noch leichteren und empfindlicheren Stoffes, welcher der anziehenden Kraft folgt, auch wenn sie schwach ist.

Versuch. Ein für die elektrische Anziehung sehr empfindlicher Körper ist der Goldschaum, den man von jedem Buchbinder erhalten kann. Wie man ihn kauft, liegt der Goldschaum zwischen zwei Blättchen Papier; er läßt sich leicht mit einer Scheere schneiden, wenn man ihn dazwischen liegen läßt und stets das Papier sammt dem Goldschaum durchschneidet. Auf diese Weise schneide man sich ein schmales, fast 3 Mm. breites Blättchen Goldschaum, nicht ganz von der Länge eines Fingers. Dies Blättchen würde an der Hand haften und leicht zerreißen, wenn man es mit den Fingern anfaßte. Deshalb nehme man eine kleine Papierscheibe, die an einem leinenen Faden hängt (§. 153), benetze sie mit etwas Gummi arabicum oder Eiweiß und lege diese Stelle der Papierscheibe auf das eine Ende des Goldschaumblättchens. Es klebt an der Scheibe fest und bietet, wenn es getrocknet ist, ein empfindliches Mittel, wenn man probiren will, ob ein Körper elektrische Anziehung zeige. Man reibe nur ein ganz kleines Stückchen Siegellack, oder man reibe eine Siegellackstange sehr schwach; das genäherte Probirblättchen wird die Elektricität anzeigen.

§. 159. Verhalten eines Leiters der Elektricität.

Versuch a. Eine kleine Papierscheibe oder eine Kugel aus Sonnenblumenmark, die an einem leinenen (oder baumwollenen) Faden hängt, werde mit einer geriebenen Siegellackstange berührt, und letztere wieder entfernt. (Um eine Markkugel aufzuhängen, fädelt man das eine Ende des dünnen Fadens in eine feine Nähnadel und zieht es mittels derselben



durch die Kugel; aus dem andern Ende des Fadens bildet man einen Knoten, schneidet den Faden dicht hinter demselben ab und zieht den Knoten ganz in die Kugel hinein. Eine an einem dünnen Faden hängende Markkugel hat man ein elektrisches Pendel genannt.) Sollte nicht durch die Berührung mit dem elektrischen Siegellack eine Veränderung mit der Kugel oder der Papierscheibe vorgegangen sein? Einem Körper, der mit einem warmen Körper in Berührung kommt, wird Wärme mitgetheilt; die Hand, die einen nassen Körper berührt, wird selbst naß. Die Papierscheibe ist von einem elektrischen Körper berührt worden; vielleicht ist sie selbst elektrisch geworden, wenn auch nur in geringem Maße. Um dies zu prüfen, nähern wir ihr das Probirblättchen. Aber dasselbe wird nicht angezogen, und die Scheibe zeigt nicht die Spur von Elektricität. Dennoch wird die anziehende Kraft der geriebenen Siegellackstange immer schwächer, je öfter sie von der Papierscheibe an verschiedenen Punkten berührt wird; der Siegellack hat einen Theil seiner Elektricität verloren, und die Papierscheibe muß sie ihm genommen haben; denn er ist von keinem andern Körper berührt worden.

Fig. 192.

a c

Versuch b. An einem 8 bis 10 Cm. langen leinenen Faden hänge eine Papierscheibe (oder eine Markkugel). An das obere Ende des Fadens werde eine zweite Papierscheibe befestigt, und diese hänge an einem seidenen Faden von mindestens 15 Cm. Länge. Als seidenen Faden kann man gewöhnliche schwarze oder grüne Nähseide nehmen; geeigneter aber ist zu den elektrischen Versuchen, wie zu den magnetischen (§. 131), ungedrehte, von einem Posamentirer bezogene Seide, in welcher einzelne Fäden neben einander liegen, die leicht zu trennen sind. Während man nun das obere Ende des Seidenfadens in der Hand hält, berühre man die untere Papierscheibe mit einer geriebenen Siegellackstange, entferne dieselbe und nähere das Probirblättchen der unteren, berührten Scheibe. Der Goldschaum wird von ihr angezogen werden. Sie zeigt also Elektricität, und dieselbe ist in ihr nicht durch Reibung, sondern durch Mittheilung von der Siegellackstange erregt. — Man reibe die Siegellackstange nochmals und berühre mit ihr wieder die untere Scheibe, bringe aber jetzt das Probirblättchen in die Nähe der oberen Papierscheibe. Auch sie wird den Goldschaum anziehen.

Fig. 193.

S L

Von dem Siegellack ist der unteren Scheibe Elektricität mitgetheilt; von der unteren Scheibe aus hat sie sich auch dem leinenen Faden mitgetheilt und von ihm aus sich über die obere Scheibe verbreitet. Wird eine einzige Stelle des leinenen Fadens elektrisch, so verbreitet sich und strömt die Elektricität ungehindert über die ganze Oberfläche desselben; er leitet die Elektricität oder ist ein Leiter derselben.

Versuch c. Der leitende, leinene Faden in dem vorigen Versuch nahm also die Elektricität nicht bloß an einer einzigen Stelle an; sondern er wurde sogleich seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch. Man theilt nun mit der geriebenen Siegellackstange dem leinenen Faden wieder Elek-

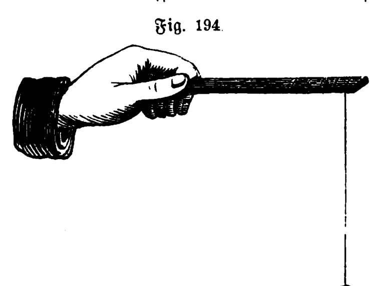
tricität mit und berührt dann irgend eine Stelle desselben mit der Hand oder einem andern Leinenfaden, um dieser Stelle die Elektricität wieder zu nehmen. Darauf untersuche man, ob irgend eine andere Stelle des leinenen Fadens das Probirblättchen anzieht. Es wird sich keine solche Stelle finden; vielmehr hat der leitende Faden seine ganze Elektricität verloren und der Hand mitgetheilt. Ebenso wie ein Leiter die Elektricität auf einmal an allen Punkten seiner Oberfläche annimmt, verliert auch ein elektrischer Leiter die Elektricität nicht bloß an der berührten Stelle, sondern die ganze über seine Oberfläche verbreitete Elektricität. Sie strömt bei einmaliger Berührung ganz aus einem Leiter weg und theilte sich bei unserm Versuch unmittelbar der Hand, bei Versuch a von der Papierscheibe aus zuerst dem leinenen Faden und dann der Hand mit; von der Hand aus strömt sie über den menschlichen Körper in den Fußboden hinab.

§. 160. Verhalten eines Nichtleiters der Elektricität.

Bei den zuletzt angestellten Versuchen hingen Papierscheiben an einem seidenen Faden, und sie behielten, wenn sie nicht mit der Hand berührt wurden, die ihnen mitgetheilte Elektricität. Es nahm also die Elektricität ihren Weg nicht über den seidenen Faden, sie strömte nicht etwa über die Seide nach der Hand; mithin leitet Seide die Elektricität nicht, sie ist ein Nichtleiter.

Versuch a. Das Verhalten eines Nichtleiters beim Annehmen und beim Verlieren der Elektricität wird dem eines Leiters entgegengesetzt sein. Wir lernen es am leichtesten an Siegellack kennen. Zuvor müssen wir uns indessen darüber Gewißheit verschaffen, ob Siegellack auch wirklich zu den Nichtleitern gehört.

Fig. 194.



Wir wählen eine noch nicht geriebene Siegellackstange, oder wir berühren eine bereits früher geriebene überall mit den Fingern, um ihr alle Elektricität zu nehmen, und winden um ihr eines Ende einen leinenen Faden mit einer runden Papierscheibe. Halten wir nun das andere Ende der Stange mit der Hand und theilen der Scheibe mittels geriebenen Papiers oder mittels einer zweiten Siegellackstange Elektricität mit, so wird diese Elektricität sich von der Scheibe über den Faden verbreiten und würde dann über die Siegellackstange zur haltenden Hand gelangen, wenn die Siegellackstange ein Leiter wäre; die Papierscheibe würde keine Elektricität behalten. Nähern wir aber das Probirblättchen der Papierscheibe, so zieht sie dasselbe an und beweist uns, daß sie ihre Elektricität behalten hat. Somit ist Siegellack ein Nichtleiter.

Versuch b. Man berühre eine nicht geriebene Stange Siegellack an ihrem einen Ende, etwa auf der rechten Seite mit einer andern, geriebenen Siegellackstange und untersuche, nachdem letztere entfernt ist, durch das Probirblättchen, wo die Siegellackstange Elektricität angenommen hat. Sie wird sich nur an der berührten Stelle elektrisch zeigen. Ein Nichtleiter nimmt die Elektricität nur an der berührten Stelle an; sie strömt nicht zu andern Stellen seiner Oberfläche.

Versuch c. Aehnlich verhält sich ein Nichtleiter beim Verlieren der Elektricität. Man reibe eine Siegellackstange und berühre sie an einer Stelle mit dem Finger. Andere Stellen der Stange werden immer noch anziehende Kraft zeigen. Ein elektrisirter Nichtleiter verliert seine Elektricität nur an der berührten Stelle.

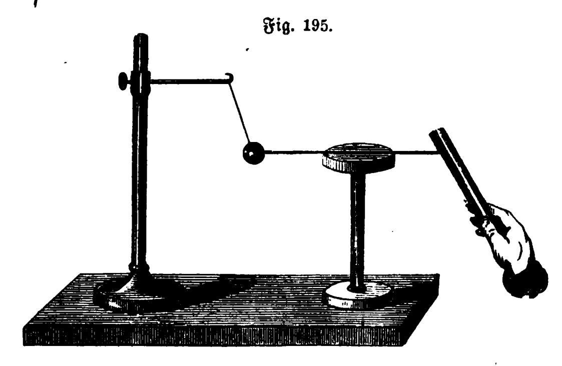
Der Unterschied in dem Verhalten der Leiter und der Nichtleiter ist mithin folgender:

Ein **Leiter** empfängt oder verliert die Elektricität sogleich an allen Stellen seiner Oberfläche;
ein **Nichtleiter** empfängt oder verliert die Elektricität nur an der berührten Stelle.

§. 161. Die besten Nichtleiter.

Seide und Siegellack haben sich als Nichtleiter der Elektricität gezeigt. Prüfen wir jetzt das elektrische Verhalten des Glases.

Versuch a. Es werde eine Glasröhre, ein Probircylinder oder ein Lampencylinder sorgfältig getrocknet und von Staub gereinigt. Darauf winde man um sein eines Ende einen Theil des leinenen Fadens, an dem eine Papierscheibe hängt, theile ihr Elektricität von geriebenem Siegellack mit, und untersuche, wie im §. 160a, mit dem Probirblättchen, ob die Elektricität der Papierscheibe über das Glas weggeströmt ist oder nicht. Das Probirblättchen wird angezogen, und das Glas zeigt sich als Nichtleiter. Noch einfacher ist es, der Scheibe Elektricität mitzutheilen und zu sehen, ob sie nachher von der Hand angezogen wird; dies muß bei hinreichend starker Elektricität, wenn Glas nicht leitet, der Fall sein, da ein elektrischer und ein unelektrischer Körper sich gegenseitig anziehen. Auf ähnliche Weise kann man das Verhalten einer Schwefelstange und anderer Stoffe prüfen.


Fig. 195.

Versuch b. Daher kann man die Versuche über den Unterschied der Leiter und Nichtleiter auch anstellen,

indem man das Glas zu Hülfe nimmt. Man legt den zu untersuchenden Körper auf ein umgekehrtes reines Trinkglas oder ein Brettchen, das von einer Glasröhre getragen wird. Das eine Ende des zu untersuchenden Körpers befinde sich in der Nähe eines Papierscheibchens, das an einem leinenen Faden hängt. An das andere Ende des Körpers hält man eine geriebene Siegellackstange. Es wird sich zeigen, ob der Körper das Scheibchen anzieht, ob er also die Elektricität von seinem einen Ende bis zum andern leitet oder nicht.

Die besten **Nichtleiter** sind: Glas, Schwefel, Harz, Horngummi*), Siegellack, Seide und trockene Luft.

Wäre die uns umgebende Luft ein Leiter, so würde durch sie die Elektricität eines geriebenen Körpers sogleich hinwegströmen, und wir würden gar keine elektrischen Erscheinungen wahrnehmen können.

§. 162. Die besten Leiter.

Versuch a. Nach demselben Verfahren, wie in dem vorhergehenden §., untersuche man das elektrische Verhalten einer Stricknadel oder eines andern Metallkörpers und eines Stückchens Kohle; sie werden sich als gute Leiter zeigen. Auf gleiche Weise überzeugt man sich, daß über die Hand, überhaupt über den menschlichen Körper, die Elektricität ungehindert hinwegströmt.

Versuch b. Theilt man einer Papierscheibe, die an einem seidenen, nicht leitenden Faden hängt, Elektricität mit, so muß sie dieselbe offenbar behalten und nachher von der genäherten Hand angezogen werden. Nun benetze man aber den Faden mit Wasser; das Wegströmen der Elektricität wird darthun, daß Wasser ein guter Leiter ist. Folglich muß auch der Erdboden, da er feucht ist und Wasser enthält, als ein Leiter angesehen werden.

Versuch c. Eine geriebene Glasröhre oder Siegellackstange bringe man über ein Gefäß mit kochendem Wasser oder über eine Flamme, oder man behauche sie an allen Stellen. Das Glas oder der Siegellack wird nachher gar keine oder äußerst geringe Anziehung zeigen und seine Elektricität verloren haben. Mit ihm ist also ein Leiter in Berührung gekommen. Aus siedendem Wasser und einer Flamme steigt Dampf empor, und ebenso athmen wir Wasserdampf in die Luft aus, und dieser leitet die Elektricität. Daraus erklärt sich das Mißlingen der elektrischen Versuche bei feuchtem, naßkaltem Wetter, da die vielen in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe als gute Leiter die Elektricität hinwegnehmen.

---

*) Horngummi oder Ebonit ist Kautschuck (elastisches Gummi), der in der Wärme mit Schwefel, Kreide und Schwerspath zusammengeknetet ist; er wird dadurch zu einer hornartigen, schwarzen Masse, aus welcher man Kämme und Stahlfederhalter verfertigt.



Somit sind die besten **Leiter:** die Metalle, Kohle, die Körper der Thiere und Menschen, Wasser und Wasserdampf.

Manche Körper gehören bei dem gewöhnlichen Zustande ihrer Trockenheit keineswegs zu den Nichtleitern; aber sie können auch nicht zu den guten Leitern gerechnet werden. Dies gilt unter andern von Holz und Papier, die man Halbleiter genannt hat. Sie leiten gut, wenn sie aus der Luft Feuchtigkeit angenommen haben, und weniger gut, wenn sie recht trocken sind.

§. 163. Die Isolirung.

Wenn wir einem leitenden Körper Elektricität mittheilen, so strömt sie sogleich aus ihm fort, falls er mit irgend einem Leiter in Berührung ist. Soll er die Elektricität behalten, so muß er isolirt sein, d. h. er muß nur mit Nichtleitern in Berührung sein. Er muß an seidenen Fäden oder Schnüren hängen, oder er muß von Glasgefäßen oder gläsernen Säulen getragen werden.

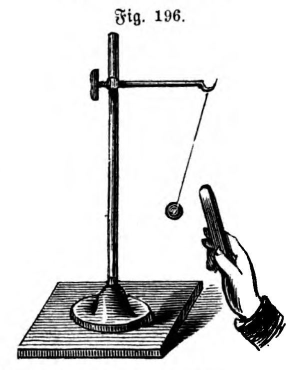
Versuch. Man halte eine leichte Kugel oder eine Papierscheibe an einem nur 2 Cm. langen Seidenfaden und theile ihr durch eine Siegellackstange Elektricität mit. Die Scheibe wird sich bald als unelektrisch zeigen. Die Elektricität ist nach und nach über den kurzen Seidenfaden weggeströmt; der angewandte Nichtleiter ist zu kurz, und die Papierscheibe ist schlecht isolirt. Soll daher ein Nichtleiter gut isoliren und das Fortströmen der Elektricität hindern, so muß er eine hinreichende Länge haben. Für gewöhnliche Versuche nimmt man deshalb die Seidenfäden mindestens 14 Cm. lang. Ebenso isolirt ein Glas oder eine Flasche von grünem Glase, die 1 Liter faßt, hinreichend, wenn sie von Staub und Feuchtigkeit sorgfältig gereinigt sind.

Die wichtige Entdeckung des Unterschiedes zwischen Leitern und Nichtleitern ist durch den Engländer Stephan Gray im Jahre 1729 gemacht worden. Er rieb eine Glasröhre, die an dem einen Ende mit einem Kork verschlossen war, und bemerkte, daß sich diesem die Elektricität der Röhre mittheilte, und von ihm leichte Körper angezogen wurden. An den Kork befestigte er darauf eine lange, leinene Schnur mit einer Kugel, um zu sehen, ob sich die Elektricität auch diesen Körpern mittheilen werde. Die Schnur war horizontal fortgeleitet und wurde von seidenen Fäden getragen, die von der Decke des Zimmers herabhingen. Wirklich strömte die Elektricität bis zu der Kugel, so daß sie eine kleine Feder anzog; denn die Schnur leitete und war sammt der Kugel isolirt. Als aber einer der herabhängenden isolirenden Fäden riß, und Stephan Gray die Schnur durch einen Messingdraht tragen ließ, zeigte die Kugel keine Spur von anziehender Kraft. Der Draht leitete die Elektricität ebenso, wie die leinene Schnur, und sie war über ihn hinweggeströmt, während die seidenen Fäden ihr Weiterströmen gehindert hatten.

Die elektrische Abstoßung.

§. 164. Gegenseitige Abstoßung elektrischer Körper.

Fig. 196.



Versuch a. Man befestige ein Probirblättchen oder eine Kugel aus leichtem Mark an einen seidenen Faden und halte dessen anderes Ende mit der Hand oder hänge es auf. Nähert man der Kugel eine geriebene Siegellackstange, so wird sie von derselben angezogen, berührt sie, empfängt von ihr durch Mittheilung Elektricität und wird, nachdem sie auch elektrisch geworden ist, abgestoßen. Bringt man ihr den Siegellack noch näher, so bewegt sie sich noch weiter weg. Diese Abstoßung zwischen den beiden elektrischen Körpern dauert so lange, bis die Kugel durch die leitenden Wasserdämpfe in der Luft oder durch Berührung mit der Hand ihre elektrische Kraft verloren hat.

Versuch b. Besonders deutlich zeigen Versuche mit Papier die elektrische Abstoßung. Ein zwei Finger breiter Streifen Schreibpapier, von 18 Cm. Länge, werde fast seiner ganzen Länge nach durch einen Schnitt mit der Scheere getheilt, oder noch besser, es werde ein schmaler Streifen herausgeschnitten, so daß zwei schmale Streifen entstehen, die oben zusammenhängen. Man durchwärme das Papier über einem Licht, halte es an der unzertheilten Stelle und reibe es auf dem Tisch mit elastischem Gummi. Nach dem Aufheben von der Tischplatte stoßen die beiden schmalen elektrisirten Theile des Papierstreifens einander ab und entfernen sich unten von einander, (oder sie divergiren).

Fig. 197.

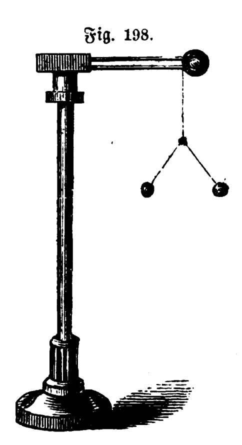
Versuch c. Ein Quartblatt Schreibpapier werde auf dem Ofen oder einer Kochmaschine erwärmt und auf dem Tisch mit Gummi gerieben. Sodann lege man ein recht kleines, nicht durchwärmtes Stückchen Papier mitten auf das größere Stück. Erst wenn man das Quartblatt mit beiden Händen horizontal aufhebt, offenbart es seine elektrischen Eigenschaften und theilt auch dem kleineren Stückchen Elektricität mit. Darum erhebt sich das kleine Papierstückchen und springt in einem Bogen von dem größeren herunter.

§. 165. Das Elektrometer.

Versuch. An jedes Ende eines 15 bis 20 Cm. langen, leinenen Fadens hänge man eine Markkugel. Der Faden muß so dünn sein, daß er durch die leichten Kugeln gespannt wird; an seine Mitte wird ein Seidenfaden befestigt, so daß die beiden Kugeln neben einander hängen

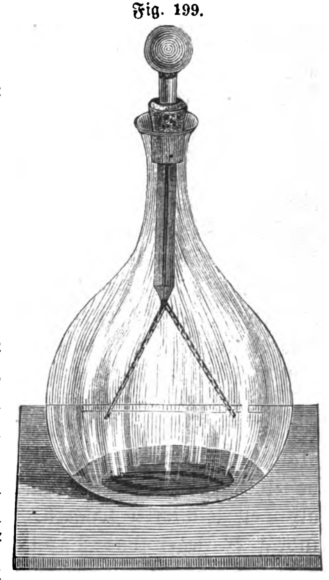
und isolirt sind, wenn man das obere Ende des seidenen Fadens in der Hand hält. Mittels dieser Vorrichtung, welche man das elektrische Doppelpendel genannt hat, kann man prüfen, ob ein Körper elektrisch sei. Vermuthet man z. B. von einer schon an mehreren Stellen berührten Siegellackstange, daß sie noch Elektricität besitze, so berühre man mit ihr die beiden Markkugeln; sie werden, wenn noch Elektricität vorhanden ist, dieselbe aufnehmen, sich abstoßen und auseinandergehen.

Fig. 198.



Das Goldblättchenelektrometer. Die eben angegebene Vorrichtung ist nicht empfindlich genug und zugleich unzuverlässig, da auch der Luftzug die Kügelchen zu bewegen vermag. Goldblättchen sind empfindlicher, und ein Glasgefäß kann den Luftzug abhalten. Will man sich daher ein Elektrometer oder Elektroskop, d. h. eine Vorrichtung, um kleine Mengen von Elektricität zu entdecken und ihre Stärke ungefähr zu schätzen, auf einfache Weise herstellen, so verschaffe man sich ein inwendig und auswendig reines und trockenes Medicinglas (oder eine Kochflasche) und wähle dazu einen passenden Kork. Der Kork wird mit einer runden Feile durchbohrt, und die Bohrung so weit, als möglich, gemacht. Darauf nehme man einen 10 Cm. langen Draht und feile seine Enden rund; sein oberes Ende biegt man zu einem Ringe (oder läßt hier eine Metallkugel anlöthen); das untere Ende klopft man mit einem Hammer breit. Der mittlere Theil des Drahtes wird über einer Spirituslampe erhitzt, mit einer dicken Lage Siegellack umkleidet und, während derselbe noch heiß ist, durch die Bohrung des Korks geschoben und darin befestigt. An das andere Ende des Drahtes klebt man mit Eiweiß oder arabischem Gummi neben einander zwei Goldschaumblättchen, die man ebenso schneidet, wie bei der Anfertigung des Probirblättchens (§. 158), und trocknen läßt, indem man den Draht irgendwo aufhängt. Bevor man den Kork mit Draht und Goldblättchen auf das Medicinglas setzt, berühre man den Hals desselben im Innern mit dem Finger; denn er kann bei einem früheren Aufsetzen des Korks durch die dabei stattfindende Reibung elektrisch geworden sein und durch seine Anziehung das Hineinbringen der Goldblättchen erschweren. Berührt man jetzt mit einer sehr schwach geriebenen Siegellackstange den Ring des Elektrometers, so strömt die Elektricität bis

Fig. 199.



zu den beiden Goldblättchen, und sie zeigen durch ihre gegenseitige Abstoßung oder Divergenz das Vorhandensein der geringen Elektricitätsmenge an, während der schwach geriebene Siegellack kaum deutlich leichte Körper anziehen würde.

Versuch. Wir haben jetzt, da wir die Nichtleiter kennen und im Besitz des Elektrometers sind, hinreichende Mittel, um zu untersuchen, ob auch ein guter Leiter, ein Stück Metall, durch Reiben elektrisch wird. Man nimmt eine Kupfermünze, welche auf einer Seite abgegriffen und glatt geworden ist. Mit der glatten Seite soll sie auf wollenem Zeuge, auf dem Aermel des Rockes, hin- und hergerieben werden, oder auf Pelzwerk, wobei sie immer in der Richtung der Haare zu bewegen ist. Dabei darf man aber die Münze nicht mit der Hand halten; denn die Elektricität würde, weil das Metall ein guter Leiter ist, sogleich aus der Münze in die Hand strömen und sich über den menschlichen Körper hinweg nach dem Erdboden zu ausbreiten. Wir müssen deshalb die Münze isoliren; wir erwärmen sie und drücken sie fest gegen das eine Ende einer 6 Cm. langen Stange Siegellack. Ist die Vorrichtung abgekühlt, so fassen wir das obere Ende der Siegellackstange an, reiben die Münze auf einem der vorher genannten Stoffe und halten sie, ohne daß sie mit der Hand in Berührung kommt, an den Ring des Elektrometers. Die auseinandergehenden Goldschaumblättchen zeigen an, daß auch Metall durch Reiben elektrisch wird.

§. 166. Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Versuch a. Der elektrische Kugeltanz. Man lege auf einen Tisch ein halbes Dutzend leichter Markkugeln und halte darüber horizontal ein erwärmtes, durch Reiben mit Gummi elektrisirtes Quartblatt Schreibpapier. Die Kugeln sind unelektrisch und werden von dem Papier angezogen. Sind sie an demselben elektrisch geworden, so werden sie abgestoßen, fallen auf die Tischplatte, verlieren hier ihre Elektricität und werden wieder angezogen. Wegen dieses Wechsels zwischen nichtelektrischem und elektrischem Zustande, und folglich zwischen Anziehung und Abstoßung, tanzen die Kügelchen auf und ab.

Versuch b. Statt der Kugeln streut man ein wenig Sand auf den Tisch und hält darüber das geriebene Papierblatt. Man hat recht glattes Papier zu wählen, damit der Sand nicht an den Unebenheiten desselben hängen bleibe, und es muß dem Sande näher gebracht werden, als den leichteren Kugeln. Der Sand strömt auf und ab und verursacht, indem er gegen das Papier schlägt, ein Geräusch, wie ein feiner Regen, der auf einen Schirm fällt.

Entgegengesetzte Elektricitäten.

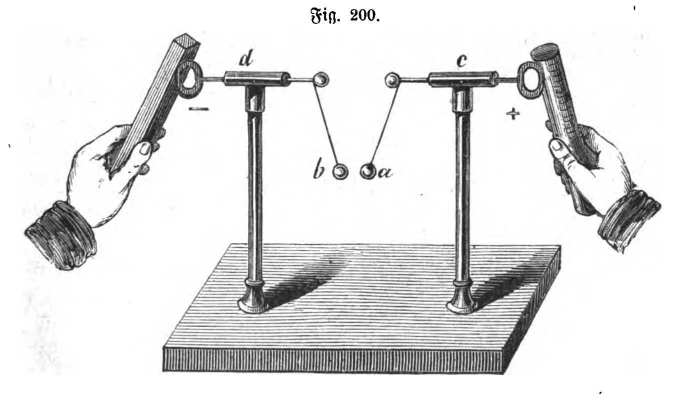
§. 167. Die beiden Elektricitäten und ihre gegenseitige Anziehung.

In den bisherigen Versuchen ist jedesmal nur ein geriebener Körper angewandt worden; ein Papierscheibchen erhielt seine Elektricität von einer Siegellackstange und wurde abgestoßen, als derselbe Körper, die Siegellackstange, wieder genähert ward. Ganz entgegengesetzte Erscheinungen zeigen sich, wenn man ihr andere geriebene Körper, z. B. eine Glasröhre, nahe bringt.

Versuch a. In den Kork auf einer Weinflasche wird ein Draht gesteckt, der zuerst lothrecht in die Höhe führt und dann seitwärts umbiegt. An das Ende des Drahtes hänge man an einem isolirenden Seidenfaden ein Kügelchen oder Probirblättchen, das, wenn es lothrecht herabhängt, etwas über eine Handbreite von der Flasche entfernt bleiben mag. Dann nehme man, um sie durch Reiben zu elektrisiren, eine Siegellackstange und einen Glascylinder, (einen langen Lampencylinder oder einen Glasstab). Reinigt man denselben sorgfältig und reibt ihn mit wollenem Tuch stärker und länger, als man Siegellack zu reiben gewohnt ist, so wird die Kugel von dem genäherten Cylinder zuerst angezogen und nachher, wie zu erwarten stand, abgestoßen. Die Kugel komme dabei mit keinem anderen Körper in Berührung, sondern behalte die ihr vom Glase mitgetheilte Elektricität. Bringt man ihr nunmehr die geriebene Siegellackstange nahe, so wird die Kugel von der Elektricität des Siegellacks angezogen.

Versuch b. Man nehme noch ein zweites Kügelchen (oder Probirblättchen) an einem seidenen Faden und theile dem einen, das an dem

Fig. 200.



Drahte hängt, die Elektricität des Glases, dem andern, welches man mit der Hand hält, die des Siegellacks mit. Beide Kugeln ziehen einander an.

Bequem für die Anstellung dieses Versuches ist der in Fig. 200 dargestellte Apparat. Zwei lothrechte Glasstäbe oder Glasröhren tragen jede oben eine hölzerne oder metallene Fassung. Diese hat eine wagerechte Bohrung, damit in ihr ein an den Enden abgerundeter Draht sich verschieben lasse. An den einander zugewandten Enden der Drähte hängen zwei Markkugeln an leinenen Fäden. Man hält mit der einen Hand eine geriebene Siegellackstange an den einen Draht, mit der andern Hand einen geriebenen Glascylinder an den andern Draht. Die beiden Markkugeln ziehen sich an.

Aus diesen, zuerst im Jahre 1733 von dem Gartendirector Du Fay angestellten Versuchen geht hervor, daß es **zwei Elektricitäten** giebt. Man hat

die eine Glaselektricität oder positive,
die andere Harzelektricität oder negative

genannt. Für die positive Elektricität ist die kurze Bezeichnung + E, für die negative das Zeichen — E eingeführt.

Die durch das Glas elektrisirte Kugel wurde bei Anstellung von Versuch a. von der gleichartigen Elektricität des Glascylinders abgestoßen. Ein entgegengesetztes Verhalten zeigte gegen sie die Harzelektricität der Siegellackstange; von ihr ward die Kugel angezogen. So folgt denn aus Du Fay's Versuch das

Gesetz: Gleichartige Elektricitäten stoßen sich ab; ungleichartige ziehen einander an.

§. 168. Prüfung der jedesmaligen Elektricität.

Das Gesetz über die Anziehung und Abstoßung beider Elektricitäten giebt uns ein Mittel, um zu untersuchen, welche von beiden Elektricitäten ein Körper durch Reibung oder Mittheilung erhalten hat.

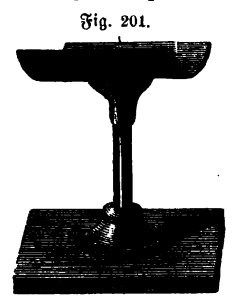
Versuch. Um die Elektricität des geriebenen Papiers zu ermitteln, hängt man, wie in §. 167, ein Probirblättchen oder Kügelchen isolirt auf und theilt ihm mit einer Siegellackstange negative Elektricität mit. Nun nähere man den mit Gummi geriebenen Papierstreifen, die Kugel wird von ihm angezogen. Ungleichartige Elektricitäten ziehen sich an, wahrscheinlich ist daher das Papier positiv elektrisch. Da indessen ein sehr stark elektrischer Körper schwach elektrische Körper anziehen könnte, gleich als wären sie ganz unelektrisch, so muß man stets die Abstoßung hervorzubringen suchen. Man nimmt der Kugel durch Anfassen mit der Hand ihre frühere Elektricität und macht sie durch Berühren mit einem geriebenen Lampencylinder positiv elektrisch; die Abstoßung zwischen der Kugel und dem geriebenen Papier tritt ein; mit Gummi geriebenes Papier hat daher positive Elektricität.

§. 169. Die gleichzeitige Erregung beider Elektricitäten.

Versuch a. Man reibe ein erwärmtes Quartblatt mit elastischem Gummi und halte letzteres dabei so, daß die Finger von der das Papier reibenden Stelle möglichst fern bleiben. Nähert man diese Stelle des Gummi einem isolirt hängenden Probirblättchen, so wird dasselbe angezogen und zeigt, daß beim Reiben zweier Körper an einander beide, das Papier und das Gummi, elektrisch werden. Von einer geriebenen Siegellackstange wird das durch Gummi elektrisirte Probirblättchen abgestoßen; das Gummi ist an der reibenden Stelle negativ elektrisch geworden, während das damit geriebene Papier positive Elektricität zeigt.

Versuch b. Das eine Ende einer Siegellackstange wird mit einem ungefähr zwei Finger breiten Streifen von wollenem Zeuge bewickelt, und die Stange an ihrem entgegengesetzten Ende angefaßt, so daß das Zeug isolirt ist. Reibt man nun damit eine andere Siegellackstange, so zieht nachher das reibende Wollenzeug das Probirblättchen an und giebt ihm positive Elektricität; denn das Blättchen Goldschaum wird, wenn es isolirt ist, nachher von einem geriebenen Glascylinder abgestoßen. Wiederum sind beide an einander geriebene Körper elektrisch geworden; die negative Elektricität ist in dem Siegellack, die positive in dem Zeuge erregt.

Fig. 201.



Versuch c. Man formt aus Blech einen 3 Cm. langen, oben offenen halben Cylinder und schraubt unten an ihn ein kurzes Stückchen Holz, in welches man einen isolirenden Glasstab oder eine Glasröhre einkittet. Darauf überzieht man das Blech mit mehreren Lagen seidenen Zeuges. So hat man ein isolirtes Reibzeug für einen Glascylinder. Schiebt man denselben unter sanftem Druck auf dem isolirten Reibzeuge hin und her, so werden Glascylinder und Reibzeug entgegengesetzt elektrisch. — Man kann auch die Oeffnung einer kleinen Flasche mit einem Stückchen Pelz oder Wollenzeug überbinden und eine Siegellackstange darauf reiben.

Gesetz: Werden zwei Körper an einander gerieben, so werden beide elektrisch, der eine positiv, der andere negativ elektrisch.

§. 170. Aufhören ihrer Wirkungen bei der Vereinigung beider Elektricitäten.

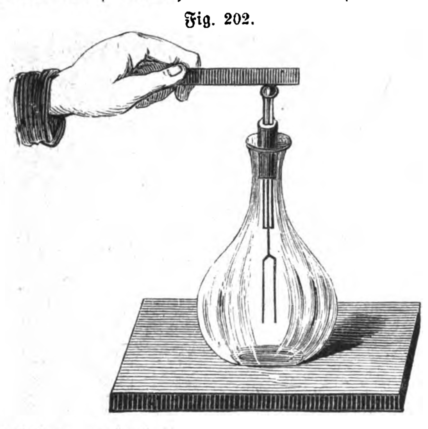
Das früher beschriebene Goldblättchenelektrometer ist leicht anzufertigen und am geeignetsten, um zu untersuchen, welche Elektricität ein Körper besitze. Vorausgesetzt, die beiden Goldblättchen haben durch Mittheilung positive Elektricität empfangen und stoßen sich deshalb ab, so müssen sie sich offenbar noch weiter von einander entfernen, wenn ihnen

noch mehr positive Elektricität mitgetheilt wird. Denn je stärker eine Kraft ist, desto stärker sind ihre Wirkungen.

Versuch a. Man theile daher den Goldschaumblättchen des Elektrometers, indem man seinen Ring mit einem schwach geriebenen Lampencylinder berührt, positive Elektricität mit; sie stoßen einander ab. Darauf bringe man noch einmal das eine Ende des Cylinders an das Elektrometer; es kommt neue positive Elektricität hinzu und bewirkt eine stärkere Abstoßung.

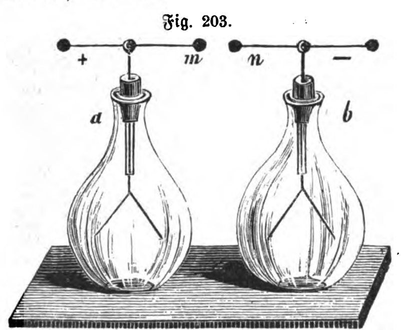
Versuch b. Im Gegensatz dazu theile man dem Elektrometer zuerst wieder mit dem schwach geriebenen Glascylinder positive Elektricität mit, berühre aber darauf den Draht des Elektrometers mit dem einen Ende einer wenig geriebenen, negativ elektrischen Siegellackstange. Es nähern sich die Goldblättchen etwas und fallen ganz zusammen, wenn man die berührende Siegellackstange weiter schiebt, so daß von noch mehr Punkten derselben negative Elektricität zu den Goldblättchen gelangt. Zuerst hatte das Elektrometer positive Elektricität und zeigte dieselbe durch die Abstoßung an; jetzt ist ihm aber eben so viel negative Elektricität mitgetheilt. Diese hat die Wirkungen der positiven Elektricität aufgehoben und vernichtet, und die Goldblättchen sind gar nicht mehr elektrisch, es müßte denn sein, daß man ihnen zu viel negative Elektricität mitgetheilt hätte, und dadurch nach ihrem Zusammenfallen eine neue Abstoßung erfolgt wäre.

Fig. 202.



Versuch c. Man fertige sich zwei gleiche Goldblättchenelektrometer; die Goldblättchen und die Drähte beider seien einander gleich; jedes Elektrometer aber wird oben mit einem wagerechten Drahte versehen, der den lothrechten Draht berührt. Da beide Instrumente einander gleich sind, bewirken gleiche Elektricitätsmengen in beiden eine gleiche Abstoßung. Man theilt dem einen Elektrometer positive, dem andern negative Elektricität mit, so daß die Goldblättchen des einen sich ebensoweit von einander entfernen, als die des andern. Schiebt man darauf beide Instrumente einander so nahe, daß ihre Drähte sich berühren, so vereinigen sich die gleichen Mengen entgegengesetzter Elektricitäten, und beide Paar Goldblättchen fallen zusammen.

Fig. 203.



Gesetz: Bei der Vereinigung beider Elektricitäten hebt die eine die Wirkungen der andern auf; beide gleichen einander aus oder neutralisiren sich.

Versuch d. Den Goldblättchen sei positive Elektricität mitgetheilt. Nähert man darauf den positiv elektrischen Glascylinder dem Elektrometer von oben her ganz allmählich, ohne es zu berühren, so sieht man die Abstoßung allmählich zunehmen. Nähert man dagegen eine Siegellackstange bis auf eine Entfernung von mehreren Cm., so nimmt die Abstoßung ab. Ist mithin die Elektricität des zu prüfenden Körpers der dem Elektrometer bereits früher mitgetheilten gleichartig, so wird die Abstoßung vermehrt; ist sie ihr ungleichartig, so wird sie vermindert.

Ein Umstand ist bei diesem Versuche auffallend; die Elektricität des genäherten Körpers verminderte oder vermehrte die vorhandene Elektricität vor erfolgter Vereinigung, schon aus der Ferne; sie wirkte nicht durch Mittheilung, sondern auf eine uns neue Weise, durch Vertheilung.

Vertheilung der Elektricität.

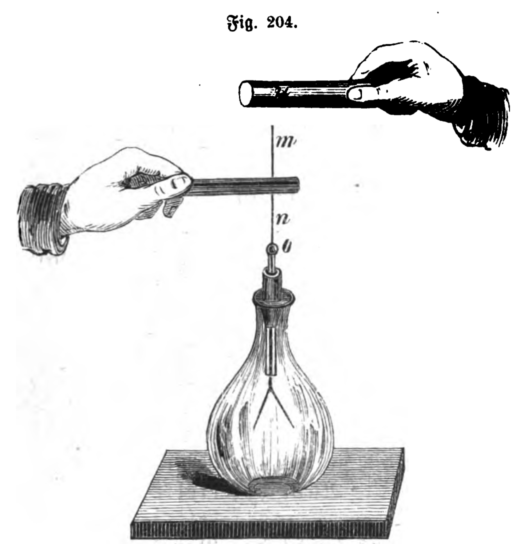
§. 171. Erregung von Elektricität durch die Nähe eines elektrischen Körpers.

Versuch. Dem Goldblättchenelektrometer wird von oben her eine geriebene Siegellackstange langsam genähert. Schon wenn sich dieselbe noch in ziemlicher Entfernung befindet, gehen die Goldblättchen auseinander. Dies könnte nicht der Fall sein, wenn nicht in den Goldblättchen Elektricität vorhanden wäre, die sie auseinander triebe. Da sie vorher sich nicht zeigte, muß sie durch die Nähe des elektrischen Körpers erregt worden sein. Die Erregung von Elektricität durch die Nähe eines elektrischen Körpers heißt die Vertheilung der Elektricität oder elektrische Influenz. Es ist von der Siegellackstange dem Goldschaum keine Elektricität mitgetheilt; man entferne nur den Siegellack wieder, und die Blättchen werden sogleich zusammenfallen; außerdem ist ja zwischen Siegellack und Elektrometer ein Nichtleiter, die Luft. Wenn aber die Goldblättchen von außen her keine Elektricität empfangen und doch elektrische Erscheinungen gezeigt haben, so muß im Goldschaum und, da alle Leiter dieselben Erscheinungen darbieten, in allen Leitern von Natur Elektricität vorhanden sein. Dasselbe gilt von allen Körpern, weil wir alle durch Reiben elektrisiren können; wenn wir einen Körper reiben, so bringen wir nichts Neues in ihn hinein; wir können nur wecken, was in ihm schlummert, oder Kräfte frei machen, die in ihm gefesselt liegen. Die Elektricität, wie sie von Natur in allen irdischen Körpern und Wesen existirt, gleicht einem Gefangenen, dessen Fesseln gelöst, und der erst frei gemacht werden muß.

§. 172. Offenbarwerden der beiden Elektricitäten jedes Körpers bei der Vertheilung.

Versuch a. Man nehme einen 15 bis 20 Cm. langen Draht, dessen Enden abgerundet sind, am bequemsten eine nicht zu dünne Stricknadel, erwärme den mittleren Theil derselben über einem Licht oder einer Lampe und befestige sie in ihrer Mitte an das gleichfalls erwärmte Ende einer Stange Siegellack. So hat man die Nadel mit einem Griffe versehen, an dem man sie isolirt halten kann; denn es ist nöthig, daß Nichts von der Elektricität, die nach der aufgestellten Vermuthung von Natur im Metall vorhanden ist, hinwegströmen könne, sondern daß sie vollständig offenbar werde. Hält man nun die Nadel mittels des isolirenden Griffes an den Draht des Elektrometers, so bilden beide eine einzige isolirte Leitung; sie wirken nicht anders, als eine einzige Metallmasse, die der vertheilenden Kraft eines elektrisirten Körpers ausgesetzt werden soll; die Goldblättchen dienen uns zugleich zum Anzeigen und Prüfen der Elektricität. Während die linke Hand die isolirte Nadel mit dem Elektrometer in Berührung hält, nähere man mit der rechten dem von dem Elektrometer abgewandten, oberen Ende der Nadel einen geriebenen Glascylinder. Sogleich gehen die Goldblättchen auseinander, obwohl aus dem Cylinder weder zu ihnen, noch zur Nadel Elektricität gelangt ist. Es kann also in der ganzen Metallmasse jetzt keine andere Elektricität zum Vorschein kommen, als die, welche sie von Natur besitzt. Man entfernt sodann zuerst die isolirt gehaltene Nadel und darauf den Cylinder und beobachtet, daß das Elektrometer seine Elektricität behält. Um dieselbe zu prüfen, wird der Glascylinder darüber gehalten; die Abstoßung wird vermehrt; das Elektrometer hat also positive Elektricität, wie der Glascylinder.

Fig. 204.

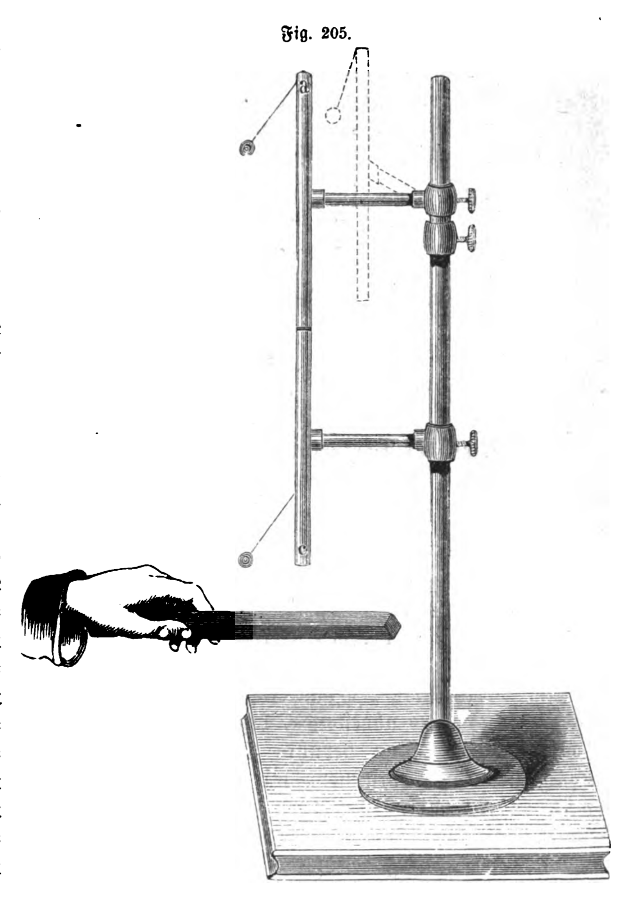


Allein der Draht des Elektrometers ist nur ein Theil der ganzen Metallmasse, die wir der Vertheilung ausgesetzt haben; die Nadel, die man unterdessen an dem isolirenden Griffe gehalten hat, ist ihr anderer Theil, und auch ihr elektrischer Zustand muß beachtet werden. Man

nehme dem Elektrometer alle seine Elektricität durch Anfassen mit der Hand und berühre es mit der Stricknadel. Die Goldblättchen empfangen die Elektricität derselben und zeigen sie durch Abstoßung an. Bringt man jetzt den Glascylinder über das Elektrometer, so wird die Abstoßung verringert. Folglich war der Nadel, von der das Elektrometer seine Elektricität erhalten hat, mit der des Glases nicht gleichartige, sondern negative Elektricität zu Theil geworden. So haben sich denn unter dem Einfluß des Glascylinders beide Elektricitäten in der Metallmasse gezeigt; in der Nähe des Cylinders offenbarte sich die negative, welche, durch seine entgegengesetzte Elektricität angezogen, herbeigeströmt war; die positive, abgestoßene, hielt sich weiter entfernt.

Versuch b. Man stelle den vorigen Versuch mit der Abänderung an, daß man statt des Glascylinders eine elektrische Siegellackstange anwendet. Die Nadel, die sich bei jenem Versuch negativ elektrisch zeigte, hat jetzt positive Elektricität. In demselben Elektrometer, das vorher seine positive Elektricität verrieth, kommt jetzt die negative zum Vorschein.

Fig. 205.



Versuch c. Häufig bedient man sich zur Beobachtung dieser Erscheinung folgender Vorrichtung. Eine lothrecht aufgestellte Holzsäule trägt über einander zwei verschiebbare, wagerechte Querarme von Glas. An den unteren und an den oberen Querarm sind lothrechte kleine Metallstangen befestigt, die oben und unten abgerundet sind. Ihren höchsten und niedrigsten Punkt berühren kleine, an leinenen Fäden hängende Markkugeln. Wird nun

den sich berührenden Metallstangen von unten her eine geriebene Siegellackstange genähert, so werden von der lothrechten Metallstange beide Markkugeln abgestoßen. Die obere Markkugel wird von einer geriebenen Siegellackstange abgestoßen, ist daher sammt dem oberen Ende der Metallstange negativ elektrisch. Die untere Markkugel dagegen wird von einer Siegellackstange angezogen und hat positive Elektricität, ebenso wie das untere Ende der Metallstange, von dem sie abgestoßen ist. Die Vorrichtung gewährt noch folgenden Vortheil; während man unter dem unteren Metallstabe eine geriebene Siegellackstange hält, dreht man den oberen Stab isolirt in die punktirt gezeichnete Stellung. Dann haben die beiden gleichen Hälften des ganzen Metallstabes, die jetzt getrennt sind, gleich starke, aber entgegengesetzte Elektricitäten und behalten sie, nachdem die Siegellackstange entfernt ist. Bringt man, ohne sie anzufassen, die beiden Hälften wieder zu gegenseitiger Berührung, so zeigen sie sich unelektrisch, weil beide Elektricitäten gegenseitig ihre Wirkungen aufheben.

Auch in Nichtleitern werden durch die Nähe eines stark elektrischen Körpers ihre beiden Elektricitäten offenbar, doch so, daß auf eine positiv elektrische Stelle eine negative, darauf wieder eine positive und eine negative in mehrfachem Wechsel folgen. Daraus ergiebt sich erstlich über das Vorhandensein natürlicher Elektricität das

> **Gesetz:** In jedem Körper sind von Natur beide Elektricitäten vorhanden.

Zweitens trennten sich in dem unelektrischen Metalle die beiden Elektricitäten bei Annäherung eines elektrischen Körpers, vertheilten sich und begaben sich an verschiedene Stellen. Und zwar wurde nach dem Gesetz der elektrischen Anziehung die entgegengesetzte Elektricität in die Nähe des elektrisirten Körpers gezogen, die gleichartige aber abgestoßen. Es gilt somit als

> **Gesetz der Vertheilung:** Jeder elektrische Körper bewirkt in seiner Nähe ein Herbeiströmen der entgegengesetzten Elektricität.

§. 173. Gebundene und freie Elektricität.

Versuch. Ueber dem Elektrometer wird eine geriebene Siegellackstange gehalten; unter ihrem Einfluß findet in dem Drahte und den Goldblättchen eine Vertheilung der natürlichen Elektricitäten Statt. Die negative Elektricität wird abgestoßen, begiebt sich in die Goldblättchen und treibt sie auseinander. Nun berühre man den Ring des Elektrometers, ohne den Siegellack zu entfernen, mit dem Finger oder einem in der Hand gehaltenen Drahte. Es fallen die Goldblättchen sogleich zusammen, zum Zeichen, daß die negative Elektricität, die von dem Siegellack abgestoßen wird und jeden Weg benutzt, um zu entweichen, durch den berührenden

Draht und die Hand weggeströmt ist. Darauf entferne man zuerst den Draht und dann die Siegellackstange; die Goldblättchen gehen wieder auseinander, und zwar, da ihre Abstoßung durch den von Neuem darüber gehaltenen Siegellack vermindert wird, mit positiver Elektricität. Obwohl derselben sich vorher ein leitender Weg darbot, hat sie nicht hinwegströmen können; sie durfte sogar nicht einmal, weil der Siegellack sie mit zwingender Gewalt anzog, sich zu den Goldblättchen begeben und sie auseinander treiben. Durch die Anziehungskraft der negativen Elektricität wurde sie gefesselt und gebunden gehalten und war nicht im Stande, sich zu entfernen. Nachdem aber die Siegellackstange weggenommen ist, sind ihre Bande gelöst; sie treibt die Blättchen von einander und eilt sogleich hinweg, wenn wir jetzt das Elektrometer anfassen; sie ist frei geworden.

Eine geriebene Siegellackstange oder Glasröhre besitzt freie Elektricität. In jedem nicht elektrisirten Körper dagegen sind die natürlichen Elektricitäten in gebundenem Zustande enthalten, die eine hält durch ihre Anziehungskraft die andere fest, und keine darf sich wirksam zeigen. Erst wenn ein Theil der einen durch eine stärkere Anziehung oder Abstoßung entfernt ist, wird ein Theil der entgegengesetzten Elektricität frei, und dieser Ueberschuß bringt elektrische Wirkungen hervor.

§. 174. Die Anziehung zwischen einem elektrischen und unelektrischen Körper als Folge der Vertheilung.

Versuch. Man bringe zuerst eine Kugel (oder Papierscheibe) an einem seidenen, dann an einem leinenen Faden in die Nähe der geriebenen Siegellackstange und achte beide Male auf die Entfernung, in welcher das Kügelchen der anziehenden Kraft Folge leistet. Die Kugel an dem leinenen Faden wird in weit größerer Entfernung angezogen werden. In ihr hat eine Vertheilung Statt; die negative Elektricität wird abgestoßen und fließt durch den leinenen Faden ab; es bleibt in ihr nur die positive Elektricität, und darum wird sie von dem negativ elektrischen Siegellack stark angezogen. In der Kugel an dem seidenen Faden werden ebenfalls die Elektricitäten vertheilt; die abgestoßene Elektricität kann aber nicht fortströmen, bleibt auf der von dem Siegellack abgewandten Seite der Kugel und ist der Anziehung hinderlich. Die angezogene Elektricität dagegen häuft sich auf der Vorderseite an und ist der Siegellackstange näher; deshalb wird das Hinderniß überwunden, und es erfolgt eine Anziehung, aber in geringerer Entfernung.

Fig. 206.

S

Jeder unelektrische Körper wird in der Nähe eines elektrischen Körpers durch Vertheilung elektrisirt. Es ist daher in Wirklichkeit keine Anziehung zwischen einem elektrischen und einem unelektrischen Körper, welche nun eintritt; sondern es giebt keine andere elektrische Anziehung, als zwischen zwei entgegengesetzten Elektricitäten.

Wenn ein leichtbeweglicher elektrisirter Körper von einem unelektrischen angezogen zu werden scheint, so ist durch seine vertheilende Wirkung in diesem die entgegengesetzte Elektricität herbeigeströmt und zieht ihn zu sich hin.

§. 175. Der Vorgang bei der Mittheilung der Elektricität eine Vertheilung.

a. Mittheilung der Elektricität bei unmittelbarer Berührung. Wenn wir ein Kügelchen an einem Seidenfaden mit einer geriebenen Siegellackstange berühren, so wird es negativ elektrisch, und es scheint ihm von dem Siegellack Elektricität mitgetheilt zu sein. Vor der Berührung werden aber durch die Nähe des Siegellacks die natürlichen Elektricitäten der Kugel durch Vertheilung getrennt, die negative abgestoßen, und die positive angezogen. Bei der Berührung vereinigt sich die positive Elektricität der Kugel mit der negativen des Siegellacks; die berührte Stelle desselben wird unelektrisch, und die Kugel behält ihre frei gewordene negative Elektricität. Es ist ihr nichts gegeben, sondern von der großen Elektricitätsmenge, die in ihr verborgen liegt, wenig genommen.

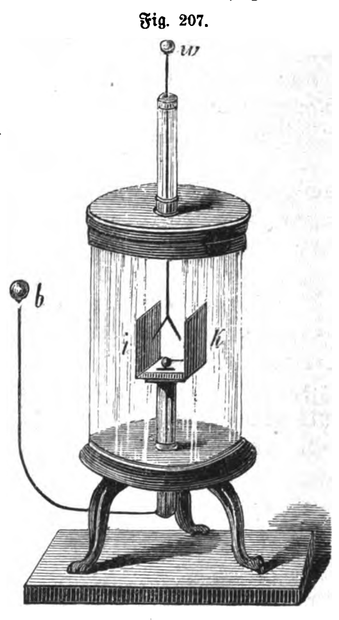
b. Mittheilung durch einen Funken. Als wir dem geriebenen größeren Papierblatte den Knöchel oder einen abgerundeten Metallknopf näherten, erhielten wir einen Funken. Die positive Elektricität des Papiers war stark genug, um in dem Finger eine größere Menge negativer Elektricität heranzuziehen und sich mit ihr zu vereinigen, indem beide, sich entgegenkommend, die zwischen ihnen befindliche Luftschicht durchbrachen. Der elektrische Funke zeigt sich bei der Vereinigung der entgegengesetzten Elektricitäten, sobald dieselben einen Zwischenraum überspringen oder durchbrechen.

§. 176. Das Vertheilungselektrometer.

Auf der Vertheilung der Elektricität beruht eins der empfindlichsten Elektrometer, das später für die Berührungselektricität gute Dienste leisten wird. Einem kurzen, weiten Lampencylinder giebt man oben und unten eine hölzerne Fassung und versieht die untere Fassung mit drei oder vier Füßen von Holz oder Metall. Die obere Fassung wird in der Mitte durchbohrt, damit man eine wenigstens 6 Mm. weite Glasröhre einkitten könne. In die Glasröhre kittet man einen oben und unten aus ihr hervorragenden Draht, indem man aus Siegellack zwei massive Cylinder formt, mitten durch diese den erwärmten Draht schiebt und die über eine Lampe gehaltenen Siegellackcylinder in die erwärmte Glasröhre einfügt. Unten an den flach gefeilten Draht befestigt man mit Eiweiß oder arabischem Gummi neben einander zwei recht dünne Blättchen von (echtem) Goldschaum, 2,5 Cm. lang und so schmal, daß sie kaum noch Flächen bilden (§. 158). Mitten durch die untere Holz-

fassung führt man ebenfalls eine Bohrung, um eine der oberen gleiche Glasröhre einzukitten. Auf die vorher angegebene Weise befestigt man auch in diese Röhre einen isolirten Draht; innerhalb des Glascylinders trägt dieser Draht oben zwei angelöthete, lothrecht zu beiden Seiten der Goldblättchen stehende Messingplatten, 6 Mm. breit und 6 Mm. von einander entfernt. Außerhalb des Glascylinders biegt der untere Draht wieder nach oben um, ohne das Holz zu berühren. Dieser durch die untere Fassung geleitete Draht b mit seinen zwei Metallplatten ist der Vertheilungsdraht. Dies kleine Instrument, das in §. 201 seine Hauptanwendung findet, ist so empfindlich, daß man nicht wohl thut, ihm eine geriebene Siegellackstange zu nähern. Zu Versuchen verwendet man Körper, deren Elektricität weit schwächer ist; man nehme etwa eine Kupfermünze, an die man ein Stück einer Siegellackstange gekittet hat, um sie isolirt halten zu können, und errege Elektricität in der Münze dadurch, daß man sie gegen wollenes Zeug drückt. Die Elektricität sei so schwach, daß sie sich an dem gewöhnlichen Goldblattelektrometer nicht offenbart.

Fig. 207.



Versuch a. Man halte die schwach elektrische Münze isolirt an den oberen Draht des Vertheilungselektrometers; zugleich halte man einen Finger oder Draht an den Vertheilungsdraht. Gehen die Goldblättchen nicht aus einander, so elektrisire man die Münze wieder ebenso schwach und wiederhole dies Verfahren, bis ein hinreichend deutlicher Ausschlag der Goldblättchen erfolgt.

Die Goldblättchen haben schwache positive Elektricität. Diese wirkt vertheilend auf den Vertheilungsdraht und zieht die negative Elektricität in die Metallscheibchen des Vertheilungsdrahtes, während die abgestoßene positive Elektricität aus dem Vertheilungsdrahte durch den Finger entweicht. Die Goldblättchen werden daher zum Ausschlag getrieben sowohl dadurch, daß sie sich abstoßen, als auch dadurch, daß sie von der entgegengesetzten Elektricität der Metallscheiben auseinander gezogen werden.

Versuch b. Man streiche mit einem trocknen, reinen Tuschpinsel oder mit der Spitze der Fahne einer Gänsefeder über die isolirt gehaltene Münze, und bringe die Feder (oder die Haare des Pinsels) an den Vertheilungsdraht. Die Goldblättchen gehen auseinander. Nun berühre man mit dem Finger den oberen Draht; die Goldblättchen gehen weiter auseinander. Berührt man den oberen Draht noch einmal mit dem Finger, so behalten die Goldblättchen ihre Stellung. Dieselbe wird ver=

ändert, sobald man dem oberen Zuleitungsdraht mit der Münze schwache positive oder mit der Feder negative Elektricität mittheilt; im ersten Fall gehen die Blättchen mehr auseinander, im zweiten nähern sie sich.

Dem Vertheilungsdraht ist zuerst die negative Elektricität der Haare oder der Feder mitgetheilt. Diese wirkt vertheilend auf die Goldblättchen und zieht in ihnen in die Nähe der Scheiben die positive Elektricität; aber hinderlich ist noch die negative Elektricität in dem oberen Drahte. Diese wird durch die erste Berührung mit dem Finger weggenommen. Die positive Elektricität der Goldblättchen ist gebunden und kann nicht durch einen unelektrischen Körper entfernt werden. Kommt aber die positive Elektricität der Münze hinzu, so wird der Ausschlag der Goldblättchen stärker.

Versuch c. Nachdem man mit der Feder über die Münze hinweggestrichen hat, berühre man mit der Münze den oberen Draht, mit der Feder den Vertheilungsdraht. Da die Goldblättchen durch Anziehung und Abstoßung gleichzeitig auseinander getrieben werden, wird der Ausschlag leicht erfolgen. Diese drei Verfahrungsarten sind zu empfehlen für sehr schwache Spuren von Elektricität, bei denen man mittels des gewöhnlichen Goldblattelektrometers keinen Ausschlag erhält.

§. 177. Der Elektrophor.

I. Anfertigung des Elektrophors.

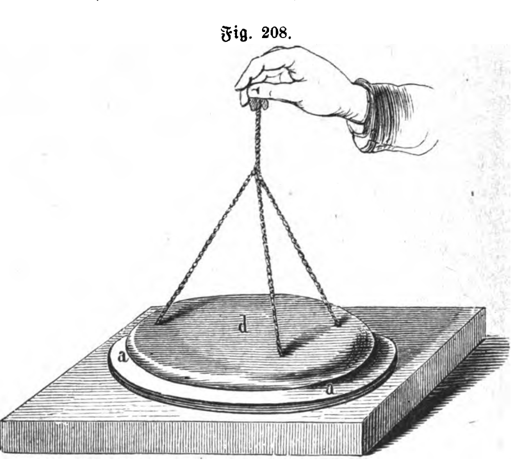
Mit Hülfe geriebener Glasröhren oder Siegellackstangen vermögen wir nur geringe Grade von Elektricität zu erregen; stärkere Wirkungen werden für die folgenden Versuche erfordert und durch eine einfache Vorrichtung hervorgebracht, die den Namen Elektrophor trägt. Jeder Elektrophor besteht aus zwei Theilen, der Elektrophormasse, die gerieben wird, und dem Deckel, der auf dieselbe gestellt und in Folge der Vertheilung elektrisch wird.

Die Elektrophormasse besteht aus einer Harzplatte, die am besten aus 4 Theilen Colophonium und 1 Theil Schellack hergestellt wird. Man schmelzt über gelindem Feuer in einem irdenen Topfe zuerst das Colophonium und setzt nach und nach unter beständigem Umrühren den Schellack hinzu. Die geschmolzene Masse gießt man in eine Form von Blech, eine kreisrunde Scheibe von 30 bis 60 Cm. Durchmesser, mit einem aufrecht stehenden, eine Fingerbreite hohen Rande. Die blecherne Form wird mit Stanniol oder Silberpapier ausgelegt, das nur an sehr wenigen Punkten angeklebt wird. Vor dem Gusse wird die Form wenig erwärmt und wagerecht gestellt. Die Harzmasse muß die Form ganz ausfüllen; am Rande bilden sich leicht Blasen, die sich mit einem scharfen Messer wegschneiden lassen. Der so bereitete Harzkuchen muß langsam erkalten; beim Gebrauch wird er mit wollenem Zeug, besser mit einem Fuchsschwanz oder einem Katzenfell, gepeitscht.

Der zweite Theil des Elektrophors ist der Deckel. Man läßt sich vom Tischler ein rundes, 2 Cm. starkes Brettchen anfertigen, dessen Durch-

messer um 3 bis 5 Cm. kleiner, als der Harzkuchen ist. Der Rand desselben ist auch nach oben und unten wohl abzurunden, und jede scharfe Kante zu vermeiden. Dies Brettchen wird ganz und gar mit Stanniol (dünngewalztem Zinn) überklebt, das man aus jeder Metallwaarenhandlung beziehen kann. Geringere Wirkungen erhält man, wenn man statt des Holzes sich mit einer runden Pappscheibe behilft und sie in Ermangelung von Stanniol mit Gold- oder Silberpapier beklebt. Die besten Deckel werden aus Blech gefertigt und am Rande sorgfältig geglättet. Der Deckel bildet einen Leiter, der isolirt soll aufgehoben werden können; man befestige deshalb mit eingeschraubten, fast überall käuflichen messingenen Schraubkugeln an gleichweit von seinem Rande entfernten Stellen drei rein seidene Schnüre von etwas über 30 Cm. Länge und binde sie oben zusammen, um daran den Deckel bequem halten zu können. Die im Handel vorkommenden seidenen Schnüre leiten die Elektricität, weil sie einen baumwollenen Kern enthalten; man muß sich von einem Posamentirer 1,5 M. von ganz seidener Schnur anfertigen lassen oder selbst Seidenfäden zusammenflechten. Es ist von Wichtigkeit, daß die untere Fläche des Deckels ganz eben und glatt sei; Holz wirft und krümmt sich aber mit der Zeit. Um diesem Uebelstande zu begegnen, kann man den Deckel auch auf folgende Weise anfertigen. Man läßt einen starken Draht oder besser eine Röhre zu einem unten ganz ebenen Ringe von solchem Umfange biegen, wie ihn der Elektrophordeckel erhalten soll; an drei gleichweit von einander entfernten Stellen wird dieser Ring von der Seite her durchbohrt, und Schnüre von reiner Seide hindurch gezogen. Darauf schneidet man ein Stück Kattun, dessen Durchmesser um 5 Cm. größer ist, als der des Ringes, und beklebt es mit Stärkekleister zuerst auf der unteren Seite ganz mit Stanniol; ist dieselbe trocken geworden, so beklebt man auch die obere Seite bis auf einen ringsherum frei bleibenden Rand ebenso, stellt den Ring darauf und klebt den an vielen Stellen eingeschnittenen Rand des Zeuges auswendig um den Metallring.

Fig. 208.



Als Elektrophormasse ist in neuerer Zeit Horngummi viel in Gebrauch; es leistet auch eine **Glasscheibe** gute Dienste. Man nimmt eine viereckige Scheibe von grünem Fensterglase 32 — 64 Cm. ins Gevierte, reibt sie mit Seide und untersucht, ob sie in hinreichendem Maße die elektrische Anziehung zeigt. Beim Gebrauch legt man die Scheibe auf

einen Bogen Silberpapier und reibt sie am besten mit einem Kissen, auf welches man Kienmayr'sches Amalgam eingerieben hat (§. 191). Der Deckel wird ebenso gefertigt, wie beim Harzelektrophor. Die Elektricität des Glases ist positiv.

II. Versuche mit dem Elektrophor.

Versuch a. Die Harzplatte sei gepeitscht und elektrisch geworden. Der Deckel, den man stets in horizontaler Lage und beim Emporheben 13 bis 16 Cm. hoch halten muß, werde auf das Harz gesetzt und, ohne daß man ihn berührt, isolirt wieder aufgehoben. Er zeigt sich, wenn er glatt und eben gearbeitet ist, vollkommen unelektrisch und giebt weder Funken, noch zieht er leichte Körper an. Die Wirkung des Elektrophors beruht auf dem Gesetz der Vertheilung. Die Harzplatte ist durch Schlagen negativ elektrisch geworden und muß in dem aufliegenden Deckel, von dem sie durch eine dünne Luftschicht getrennt ist, dessen natürliche und noch verbundene Elektricitäten vertheilen, die positive nach seiner unteren Fläche ziehen und die negative nach der oberen Seite hin abstoßen. Beide Elektricitäten bleiben in dem Deckel; wird er nun emporgehoben, so hört ihre Vertheilung auf, und sie halten einander wieder gebunden.

Versuch b. Der Deckel werde auf die Harzplatte gesetzt, und ihm ein Kügelchen an einem seidenen Faden genähert. Es wird von ihm angezogen, möge ihn berühren und von ihm Elektricität empfangen. Bringt man darauf der Kugel eine geriebene Siegellackstange nahe, so wird sie von derselben abgestoßen, hat also negative Elektricität. Folglich hat der aufliegende Elektrophordeckel freie negative Elektricität. Von seinen beiden Elektricitäten wird die negative durch die der Harzplatte abgestoßen; nichts hält sie zurück, und sie strömt in jeden Leiter, der den Deckel berührt.

Versuch c. Um dem aufliegenden Deckel seine freie negative Elektricität völlig zu nehmen, berühre man ihn mit der Hand und hebe ihn dann an den isolirenden Schnüren empor. Bringt man jetzt den Knöchel in seine Nähe, so erhält man aus dem Deckel einen Funken, mindestens schon aus der Entfernung von 2 Cm.

Man wiederhole das ganze Verfahren. Der Deckel, dessen Schnüre man in der Linken hält, wird auf die Platte gesetzt; während er noch aufliegt, berühre ihn die rechte Hand; nach dem Aufheben werde ihm ein Kügelchen an einem Seidenfaden genähert und erhalte von ihm Elektricität mitgetheilt. Von einem geriebenen Glascylinder wird diese Kugel abgestoßen, zum Zeichen, daß sie positiv elektrisch geworden ist. Der nach einer Berührung aufgehobene Elektrophordeckel besitzt positive Elektricität. Berührt man nämlich den Deckel, während er noch aufliegt, so wird negative Elektricität aus ihm fortgeleitet; aber die positive kann ihm nicht genommen werden, weil sie von der negativ elektrischen Harzplatte angezogen und gebunden wird. Aus diesen Fesseln wird sie aber frei gemacht, sobald wir den Deckel von der Platte aufheben und in eine Entfernung bringen, in der die Wirkung des elektrischen Harzes aufhört.

Demnach finden beim Gebrauch des Elektrophors folgende Vorgänge statt. Durch Aufsetzen des Deckels bewirken wir in ihm eine Vertheilung und lösen das Band, das von Natur seine beiden Elektricitäten an einander fesselt; durch Berühren des aufliegenden Deckels wird die eine seiner Elektricitäten, die negative, entfernt, und durch Emporheben des berührten Deckels schaffen wir uns freie positive Elektricität, indem wir sie aus der Nähe der sie fesselnden Harzelektricität losreißen. Gebunden mußte die positive Elektricität des Deckels werden, damit sie nicht fortströmte; aber wir haben ihr statt der natürlichen eine künstliche Fessel gegeben, aus der wir sie durch Emporheben befreien können. Da durch dies Verfahren der Harzplatte keine Elektricität genommen wird, so läßt es sich oft hinter einander wiederholen, ohne daß das Harz von Neuem geschlagen zu werden braucht. Lange bleibt der gepeitschte Harzkuchen in elektrischem Zustande, weil seine Elektricität durch die entgegengesetzte Elektricität des Deckels gebunden wird, und häufig erhält man noch Funken aus dem Deckel, wenn er schon Monate lang auf dem Kuchen gelegen hat. Daher schreibt sich der Name Elektrophor, das heißt, Elektricitätsträger.

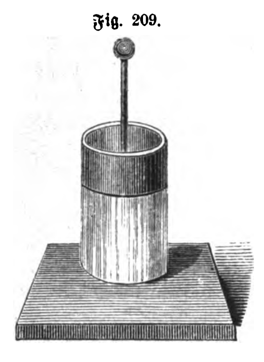
Man kann den Elektrophordeckel zu Versuchen über elektrische Anziehung und Abstoßung benutzen. Die Kugel an dem leinenen Faden (§. 153) wird von dem berührten und dann an seidenen Schnüren emporgehobenen Deckel in ziemlicher Entfernung angezogen; die Kugel an dem seidenen Faden (§. 164) zeigt nachher die Abstoßung. Eine Markkugel oder ein Stückchen Goldschaum werde auf den Elektrophordeckel gelegt, ehe man ihn aufhebt; die leichten Körperchen werden von ihm herunterspringen. In einen Kork als Fuß schiebe man eine halbe Stricknadel und befestige oben an diese zwei schmale, herabhängende Streifen Seidenpapier; die Vorrichtung wird mitten auf den aufliegenden Deckel gesetzt und zeigt beim Emporheben desselben die Abstoßung. Für den elektrischen Kugeltanz (§. 166) bringt man den elektrischen Deckel, ähnlich wie früher das Papier, über die Kugeln. — Erfunden ist der Elektrophor 1775 durch Alexander von Volta. (§. 201.)

§. 178. Anfertigung der Verstärkungsflasche.

Auf der Vertheilung und dem gegenseitigen Binden der Elektricitäten beruht eine Vorrichtung, durch die stärkere elektrische Wirkungen hervorgebracht werden, die elektrische Flasche oder Verstärkungsflasche. Zu ihrer Anfertigung nimmt man ein Trinkglas von wenigstens 14 Cm. Höhe oder ein Zuckerglas. Bei der Auswahl desselben sieht man darauf, daß das Glas dünn sei und keine Risse habe, noch ungeschmolzene Sandkörner enthalte. Das Glas muß mit Stanniol oder zur Noth mit Silberpapier beklebt werden, so daß oben, inwendig und auswendig, ein Rand von 3 Cm., bei größeren Gläsern von 5 Cm., unbelegt bleibt. Es wird gleichmäßig zertheilter Stärkekleister auf die Stanniolstückchen gestrichen, und dieselben werden auf das Glas gelegt; um sie zu glätten, breitet man

darüber ein Stück Papier und reibt oder drückt darauf mit zusammengelegtem weichem Zeuge. Zuerst beklebt man das Glas inwendig, schneidet ein rundes Stück Stanniol, das größer, als der Boden ist, und versieht es ringsherum mit Einschnitten. Die eingeschnittenen Stellen reichen etwas an den Seiten empor. Sodann werden die Seitenwände mit Stanniolstreifen belegt, die von dem Boden aufwärts reichen und um 3 Cm. kürzer sind, als die Höhe des Glases, damit oben der Rand frei bleibe; man schneidet sie 3 bis 5 Cm. breit und klebt jeden folgenden Streifen mit seinem Rande auf den Rand des vorher aufgeklebten. Wenn die innere Belegung fertig ist, läßt man das Glas einen bis zwei Tage an einem mäßig warmen Orte stehen. In dieser Zeit bilden sich bei der Gährung des Kleisters zahlreiche Bläschen zwischen Glas und Metall; diese muß man sorgfältig entfernen, indem man das Stanniol wiederholt mit dem gebogenen Zeigefinger in der Richtung nach oben hin streicht. Ist die innere Belegung trocken und glatt anliegend, so beklebt man das Glas auswendig auf dieselbe Weise und bis zu derselben Höhe. Ist auch die äußere Belegung vollendet, so befestigt man noch inwendig, gerade da, wo nach oben die Belegungen aufhören, eine runde Pappscheibe, die fest an die inneren Wände anschließt. Sie wird zuvor in der Mitte durchbohrt, und durch die Bohrung ein nicht zu dünner Draht gesteckt, der darin festsitzt und bis auf den Boden des Glases hinabreicht. Hier unten kann man an den Draht noch einige Stückchen Stanniol oder Silberpapier binden, damit er sicher mit der inneren Belegung leitend verbunden sei. Oben ragt der Draht eine Hand breit lothrecht aus der Flasche hervor und ist mit einem Knopf, einer Kugel von 1 bis 3 Cm. Durchmesser, versehen, die von einem Blecharbeiter aus Messingblech gefertigt und angelöthet oder aus Zinn in einer Flintenkugelform angegossen werden kann. Die folgenden elektrischen Versuche sind mit einem kleinen Elektrophor und einer 14 Cm. hohen Verstärkungsflasche angestellt worden.

Fig. 209.



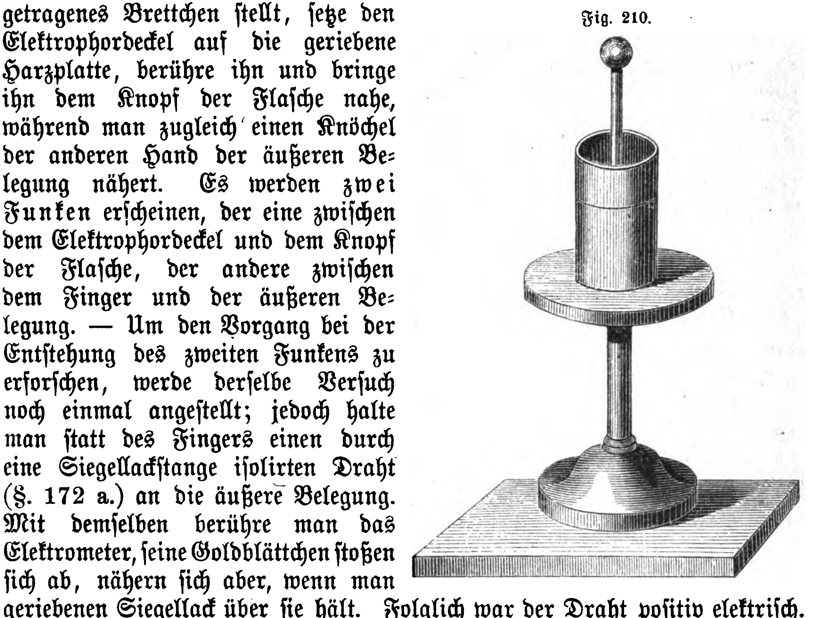
§. 179. Ladung der Verstärkungsflasche.

Die innere und die äußere Belegung der Flasche bilden zwei Metallplatten, welche von einander durch eine isolirende Glaswand getrennt sind. Auch von dem Draht und seinem Knopf, der zur inneren Belegung gehört, kann die Elektricität wegen des unbelegten Glasrandes auf keine Weise zur äußeren Belegung gelangen. Häufte man nun auf der inneren Belegung positive, auf der äußeren negative Elektricität an, so würden beide einander desto stärker anziehen, je dünner das sie trennende Glas ist, und ihre Vereinigung würde, wenn man ihnen plötzlich einen leitenden Weg darböte, von starken Wirkungen begleitet sein. Das Laden der

Flasche besteht darin, daß man auf der inneren Belegung positive, auf der äußeren negative Elektricität anhäuft.

Versuch a. Man isolire die elektrische Flasche, indem man sie auf ein gereinigtes, umgekehrtes Trinkglas oder auf ein von einer Glasröhre getragenes Brettchen stellt, setze den Elektrophordeckel auf die geriebene Harzplatte, berühre ihn und bringe ihn dem Knopf der Flasche nahe, während man zugleich einen Knöchel der anderen Hand der äußeren Belegung nähert. Es werden zwei Funken erscheinen, der eine zwischen dem Elektrophordeckel und dem Knopf der Flasche, der andere zwischen dem Finger und der äußeren Belegung. — Um den Vorgang bei der Entstehung des zweiten Funkens zu erforschen, werde derselbe Versuch noch einmal angestellt; jedoch halte man statt des Fingers einen durch eine Siegellackstange isolirten Draht (§. 172 a.) an die äußere Belegung. Mit demselben berühre man das Elektrometer, seine Goldblättchen stoßen sich ab, nähern sich aber, wenn man geriebenen Siegellack über sie hält. Folglich war der Draht positiv elektrisch.

Fig. 210.



Aus dem Elektrophordeckel wird der inneren Belegung positive Elektricität mitgetheilt. Diese wirkt durch das Glas hindurch vertheilend auf die Elektricitäten in der äußeren Belegung und den sie berührenden Leitern, zieht aus ihnen die negative Elektricität herbei und stößt die positive ab, die sich deshalb in dem Drahte vorfand. Soll sich also negative Elektricität auf der äußeren Belegung anhäufen, so muß sie mit leitenden Körpern in Berührung sein, durch welche die abgestoßene, positive Elektricität abfließen, und aus denen negative Elektricität herbeiströmen kann. Aus dem Versuche ergiebt sich, daß die Verstärkungsflasche beim Laden nicht isolirt sein darf.

Versuch b. Um die Flasche zu laden, fasse man sie auswendig mit der rechten Hand, während man mit der linken die Schnüre des Elektrophordeckels hält. Der Deckel wird auf das Harz gelegt, mit der linken Hand berührt, isolirt aufgehoben und dem Knopf der Flasche so weit genähert, bis zu ihm ein Funke überspringt. Dies Verfahren wird 20 bis 50 Mal wiederholt. Dann hat sich auf der äußeren Belegung negative Elektricität angesammelt; sie kann sich aber nicht entfernen, weil sie durch die positive Elektricität der inneren Belegung festgehalten und gebunden wird. Ohne dem Knopf zu nahe zu kommen, stelle man für den folgenden Versuch die Verstärkungsflasche auf ein umgekehrtes Trinkglas.

§. 180. Allmähliche Entladung der Verstärkungsflasche.

Versuch. Die geladene Flasche stehe isolirt auf einem Glasgefäße. Man nähere der äußeren Belegung ein leichtes Kügelchen an einem seidenen Faden; es wird nicht angezogen, zum Zeichen, daß die Elektricität der äußeren Belegung vollständig gebunden ist und sich nicht wirksam zeigen kann. Nähert man aber das Kügelchen dem Knopf der Flasche, so wird es angezogen und erhält bei der Berührung positive Elektricität, ein Beweis, daß die Elektricität der inneren Belegung nicht ganz durch die der äußeren festgehalten wird, sondern einen Ueberschuß an Elektricität besitzt, der frei ist. Berührten sich beide Belegungen unmittelbar, so würden sie sich ganz unelektrisch zeigen, und ihre Elektricitäten sich gegenseitig binden. Das Glas bildet aber einen Zwischenraum zwischen ihnen; deshalb konnte die positive Elektricität im Innern der Flasche nicht eine ihr völlig gleiche, sondern nur eine kleinere Elektricitätsmenge herbeiziehen; wegen der Trennung durch das Glas muß stets eine der beiden Elektricitäten stärker sein, als die andere, wenn diese völlig gefesselt und unwirksam sein soll. Nachdem man den Knopf der Flasche berührt hat, ist die Elektricität der äußeren Belegung nicht mehr ganz gebunden, sondern zum Theil frei, sie vermag eine Kugel anzuziehen und ihr negative Elektricität zu geben. Dadurch verliert sie ihren Ueberschuß an Elektricität, und man erhält jetzt, wenn man, ohne zugleich die äußere Belegung zu berühren, den Knopf anfaßt, aus ihm einen kleinen Funken. Darauf kann man wieder, nachdem man die Hand von dem Knopf entfernt hat, aus der äußeren Belegung einen Funken ziehen. Durch dies öfter wiederholte abwechselnde Funkenziehen aus beiden Belegungen wird die Flasche nach und nach entladen und ihrer Elektricitäten beraubt.

§. 181. Die elektrische Erschütterung.

Versuch a. Bisher haben wir die Verstärkungsflasche nach und nach entladen; sie zeigt uns die ganze Kraft der Elektricität aber nur bei plötzlicher Entladung, wenn fast alle Elektricität der äußeren Belegung sich auf einmal mit der der innern Belegung vereinigt. Man stelle die geladene Flasche auf den Tisch, umfasse mit der einen Hand die äußere Belegung und nähere die andere Hand dem Knopf der Flasche. In demselben Augenblicke, in welchem von diesem ein Funke zu dem ihm am nächsten kommenden Finger überspringt, empfindet man eine Erschütterung, namentlich in den Gelenken der Hand und des Armes, welche man den elektrischen Schlag oder die elektrische Erschütterung nennt. Die entgegengesetzten Elektricitäten der Belegungen vereinigen sich dabei plötzlich, indem sie ihren Weg durch den menschlichen Körper nehmen. Wenn man die elektrische Erschütterung nicht kennt, thut man wohl, die Flasche zuerst schwach, mit zehn oder noch weniger Funken des Elektrophordeckels

zu laden und nach und nach die Wirkungen stärkerer Ladungen auf den Körper kennen zu lernen.

Versuch b. Der elektrische Schlag läßt sich mehreren Personen auf einmal ertheilen. Der Erste umfaßt mit der Linken die äußere Belegung der Verstärkungsflasche und giebt seinem Nachbar die rechte Hand, dieser legt wieder seine Rechte in die Linke des Folgenden, und so halten sich Alle mit den Händen fest. Der Letzte hat die Rechte frei und berührt damit den Knopf der Flasche. Alle empfinden den Schlag gleichzeitig; nur fühlen ihn die in der Mitte des Kreises Stehenden schwächer und, wenn der Fußboden feucht ist, fast gar nicht, weil die sich vereinigenden Elektricitäten dann zum Theil ihren Weg durch den leitenden Boden nehmen.

Versuch c. Wenige Augenblicke, nachdem man die Verstärkungsflasche entladen hat, umfasse man wieder mit der einen Hand die äußere Belegung und nähere die andere dem Knopfe. Man erhält einen zweiten Entladungsschlag, welcher viel schwächer ist, als der erste. In der geladenen Flasche sind die Elektricitäten, weil sie sich stark anziehen, zum größten Theil auf die Glaswände übergegangen; als Nichtleiter haben dieselben bei der Entladung nicht sogleich alle Elektricität verloren; sondern es ist in ihnen ein Rückstand oder Residuum von Elektricität geblieben, welcher erst nach einiger Zeit auf die Belegungen übertritt und so die zweite, schwache Ladung bewirkt.

Die elektrische Erschütterung ist Anlaß zur Erfindung der Verstärkungsflasche geworden, die 1745 fast gleichzeitig durch den Domherrn von Kleist in Pommern und durch einen reichen Privatmann Cunäus zu Leyden gemacht ward. Von Kleist wollte nämlich durch Elektricität Spiritus entzünden (§. 189. 192) und bediente sich dazu einer Vorrichtung, mit der er das Leuchten elektrisirter Körper im Dunkeln sehr schön darstellen konnte. Es war ein Medicinglas voll Quecksilber; durch den verschließenden Kork war ein Nagel geschoben, dessen Kopf hervorragte; dieser ward an die Elektrisirmaschine gehalten, und dann konnte man die Vorrichtung durch ein dunkles Zimmer tragen, in welchem sie hell leuchtete, und in einem anstoßenden, erleuchteten Zimmer mit ihr Spiritus entzünden. Eines Tages, am 11. October 1745, kam es dem Domherrn vor, als wollte der Nagel die Elektricität nicht gut aufnehmen; indem seine eine Hand das Glas hielt, brachte er die andere an den Nagel, um aus dem Ueberspringen oder Ausbleiben des Funkens die Wirksamkeit der Vorrichtung zu beurtheilen. Ein Funke sprang über, und Kleist erhielt einen ihn erschütternden Schlag. — In Leyden hatte der Professor Muschenbroek seinen Zuhörern gezeigt, wie man Wasser in versiegelten Flaschen elektrisiren und Wochen lang aufbewahren könne, ohne daß es seine Elektricität verlor. Cunäus wollte denselben Versuch anstellen, füllte eine Flasche mit Wasser, stellte einen starken Messingdraht hinein und setzte diesen durch eine Kette mit der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung. Die Kette verwickelte sich, und Cunäus wollte sie mit der einen Hand in Ordnung bringen, während er mit der andern die Flasche hielt. Aber kaum hatte er die Fingerspitzen an die Kette gebracht, als unvermuthet der elektrische

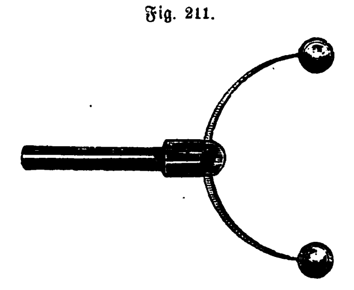
Schlag ihn durchzuckte. Oft wird die Verstärkungsflasche auch Kleist'sche oder Leydener Flasche genannt. Der Nordamerikaner Franklin nahm statt der Flasche eine ebene Glasscheibe und belegte sie auf beiden Seiten bis auf einen frei bleibenden Rand mit Metall. Diese Franklin'sche Tafel leistet dieselben Dienste, wie eine Verstärkungsflasche.

§. 182. Der Auslader.

Man kann die Verstärkungsflasche auf einmal entladen, ohne daß man den Entladungsschlag selbst empfindet.

Versuch. Ein nicht zu dünner Draht von 50 Cm. Länge wird an seinen Enden rund gefeilt und in der Mitte gebogen. Um die Weite der Biegung und die gegenseitige Entfernung der beiden Enden abzumessen, halte man das eine mitten an die äußere Belegung der nicht geladenen Flasche und biege den Draht so, daß das andere Ende dann gerade den Knopf der Flasche berührt. Schon in dieser einfachen Gestalt bildet der Draht einen Auslader. Bequemer läßt er sich indessen halten, wenn man einen durchbohrten Kork oder einen hölzernen Griff über ihn bis an die Mitte der Biegung schiebt, und falls der Draht nicht sehr stark ist, ist es zweckmäßig, seine beiden Enden zu kleinen Ringen umzubiegen oder Metallkugeln anlöthen zu lassen. Um mit Hülfe dieses Ausladers eine Flasche zu entladen, faßt man ihn an dem Kork. Eine der Kugeln legt man an die äußere Belegung und bewegt die andere schnell gegen den Knopf der Flasche, gleich als wollte man einen Schlag gegen denselben ausführen. Man nimmt bei dieser Entladung das helle Licht des Funkens und den ihn begleitenden Knall deutlich wahr und verspürt keine Erschütterung, weil die einander entgegenströmenden Elektricitäten den Weg über den Metalldraht einschlagen.

Fig. 211.

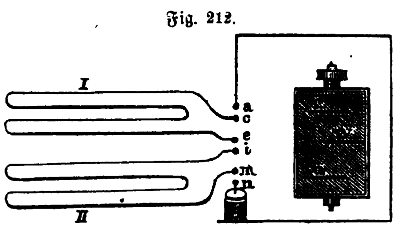


Ist der gebogene Draht nur einigermaßen stark, so kann man sogar sein eines Ende und die linke Hand an die äußere Belegung der Verstärkungsflasche halten und das andere Ende in der rechten Hand dem Knopf der Flasche nahe bringen, ohne einen Schlag zu empfinden. Die sich bewegende Elektricität folgt stets dem besseren und kürzeren Leiter, hier dem Metalle. Nur bei sehr starken Ladungen findet eine Entladung auf mehreren Wegen, durch den besten und durch weniger gute Leiter, zugleich Statt. Zur Sicherheit kann man an die Mitte des Drahtes eine hölzerne Fassung befestigen und in diese einen Glasstab kitten.

§. 183. Die Geschwindigkeit der Elektricität.

Die Verstärkungsflasche ist im Jahre 1835 von dem Engländer Wheatstone dazu benutzt worden, die Geschwindigkeit der Elektricität zu bestimmen. Von dem Beobachtungsorte aus führten zwei Messingdrähte I und II, deren jeder $^1/_4$ englische Meile lang war und nach dem Beobachtungsorte wieder zurückführte. Ihre vier Enden waren mit Kugeln, versehen, lothrecht über einander angebracht und von isolirten Trägern gehalten. Ueber der obersten Kugel des ersten Leitungsdrahtes war noch die Kugel eines kurzen Drahtes befestigt, der mit seinem andern Ende die äußere Belegung einer Verstärkungsflasche berührte; diese Kugel war so nahe über der höchsten Kugel des einen Leitungsdrahtes angebracht, daß zwischen ihnen leicht ein elektrischer Funke überspringen konnte. Die Elektricität vermochte ungehindert den eine Viertelmeile langen Draht zu durchströmen und zu seiner unteren Kugel zu gelangen. Von dieser konnte sie abwärts zur oberen Kugel des zweiten Leitungsdrahtes überspringen, denselben durchlaufen und zu seiner unteren Kugel kommen. Unter derselben befand sich der Knopf einer Verstärkungsflasche. Wurde ihr dieser nahe gebracht, so vereinigten sich die beiden Elektricitäten der Belegungen, da sich ihnen ein leitender Weg darbot; auf demselben befanden sich aber drei kleine Unterbrechungsstellen, zwischen je zwei einander nahen Kugeln; hier mußten sich drei Funken zeigen. Hätte nun die Elektricität hinreichende Zeit gebraucht, um die langen Drähte zu durchströmen, so würde ein Funke nach dem andern erschienen sein. Allein das Auge nahm alle drei Funken genau zu derselben Zeit wahr.

Fig. 212.



Wheatstone nahm deshalb einen Spiegel zu Hülfe, der sich in schnelle, drehende Bewegung versetzen ließ. Wenn man eine leuchtende Kohle schnell im Kreise herumdreht, so erscheint dem Auge ein leuchtender Kreis. Das Licht der Kohle macht einen Eindruck auf das Auge, und dieser dauert noch fort, wenn sie auch schon weiter bewegt ist. Wir sehen die leuchtende Kohle an ihrer ersten Stelle und, wenn die Bewegung schnell genug ist, noch zugleich an andern Punkten; wir sehen deshalb eine helle Linie. Vergl. §. 323.

Versuch. Man zünde ein Licht an und halte dahinter einen Spiegel. Bewegt man nun mit der rechten Hand möglichst schnell die rechte Seite des Spiegels, während seine linke Seite in der gegengestemmten Linken ruht, so sieht man im Spiegel nicht ein Bild der Flamme, sondern einen breiten leuchtenden Streifen. Das Auge sieht das helle Bild noch an der ersten Stelle, während es bei seiner schnellen Bewegung sich auch schon an andern Stellen darstellt.

Der von Wheatstone angewandte Spiegel war eine auf beiden Seiten polirte Metallplatte, ließ sich mittels einer geeigneten Vorrichtung um eine lothrechte Axe drehen und war so aufgestellt, daß man die drei elektrischen Funken darin abgebildet sah. Er machte in jeder Sekunde 800 Umdrehungen, und man beobachtete in ihm statt der Funkenbilder drei über einander befindliche helle Linien, von denen bei Umdrehung des Spiegels nach der rechten Seite der Anfangspunkt der mittleren Linie weiter nach rechts lag, als der der beiden andern. Wären alle drei Funken zu gleicher Zeit erschienen, so hätten die Anfangspunkte der sie abbildenden Linien genau lothrecht über einander liegen müssen; die mittlere Linie fing um $\frac{1}{2}$ Grad später an, der mittlere Funke war also später erfolgt. Da der oberste und unterste Funke zu gleicher Zeit erschienen, waren die Elektricitäten von beiden Belegungen zu gleicher Zeit ausgegangen; jede hatte die Hälfte des Weges, $\frac{1}{4}$ englische Meile, durchlaufen, und weil sie dazu Zeit gebrauchten, war das Bild des mittleren Funkens um $\frac{1}{2}$ Grad zurückgeblieben.

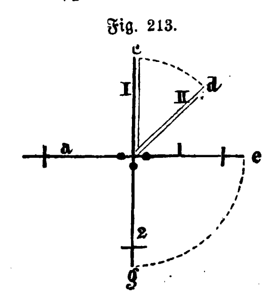


Fig. 213.

Versuch. Man nimmt einen Spiegel, stellt ihn lothrecht auf den Tisch und legt davor einen Bleistift, in dessen eines Ende man, um sofort die Lage des Bildes zu erkennen, zwei Stecknadeln befestigen möge. Bei der ersten, senkrechten Stellung I des Spiegels ist das darin erscheinende Bild 1 des Bleistiftes horizontal. Nun drehe man den Spiegel um einen Bogen von 45 Grad in die Lage II; dabei bewegt sich das Bild um einen Bogen von 90 Grad in die Lage 2. Der Bogen, um welchen der Spiegel gedreht ist, ist danach halb so groß, als der Bogen, den das Bild durchläuft.

Bei Wheatstone's Versuch hatten die äußersten Funkenbilder schon $\frac{1}{2}$ Grad durchlaufen, ehe der mittlere Funke erschien. Der Spiegel hatte sich in dieser Zeit nur um $\frac{1}{4}$ Grad gedreht. Er gebrauchte zu 800 Umdrehungen oder, da jede volle Umdrehung 360 Grade hat, zu $360 \times 800 = 288000$ Grad eine Sekunde, zu einer Drehung von 1 Grad $\frac{1}{288000}$ Sekunde, und zu einer Drehung von $\frac{1}{4}$ Grad, den vierten Theil davon, $\frac{1}{1152000}$ Sekunde. So viel Zeit hatte die Elektricität gebraucht, um $\frac{1}{4}$ englische Meile zu durchlaufen; sie würde also in einer ganzen Sekunde 288000 englische oder, da $4\frac{2}{3}$ englische Meilen einer geographischen gleich sind, ungefähr 62000 geographische Meilen durchlaufen. Die Geschwindigkeit der Elektricität ist folglich bei Weitem größer, als die des Lichtes, das 40000 Meilen in einer Sekunde zurücklegt.

§. 184. Das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen.

Bei Anfertigung des Elektrophordeckels ist darauf aufmerksam gemacht, daß alle scharfen Kanten und Spitzen vermieden werden müssen.

Versuch a. Man reibe die Harzplatte des Elektrophors, ziehe aus dem emporgehobenen Deckel Funken und beachte die Entfernung, in welcher dieselben zu dem Knöchel überspringen. Darauf lege man eine große, recht spitze Stecknadel so auf den Elektrophordeckel, daß die Nadelspitze auf der Seite über ihn hinausragt. Zieht man jetzt aus dem Deckel Funken, so erhält man sie auffallend schwächer und in weit kleinerer Entfernung; der Deckel ist jetzt in geringerem Maße elektrisch. Da alle Theile einer und derselben Elektricität nach dem Gesetze der Abstoßung sich von einander zu entfernen streben, so hat sich an dem Rande des Deckels am meisten Elektricität angesammelt; ragt noch eine Metallspitze hervor, so häuft sich in derselben eine überaus große Elektricitätsmenge an und strömt, von der übrigen abgestoßen, aus, weil ihr die Luft an dem Endpunkte der Spitze nur geringen Widerstand leistet.

Nachdem die Nadel von dem Elektrophordeckel herabgenommen ist, werde sie in der Hand gehalten und mit der Spitze dem elektrischen Deckel genähert. Es springt ihr kein Funke entgegen, und auch der Knöchel erhält nachher nur noch einen sehr schwachen Funken aus dem Deckel. Wieder ist ihm durch die Spitze ein großer Theil seiner Elektricität geraubt. Von seiner positiven Elektricität angezogen, ist aus der Nadel negative Elektricität gegen den Deckel geströmt und hat einen Theil der positiven unwirksam gemacht.

Versuch b. Wenn man den elektrisirten Elektrophordeckel mit darauf liegender Nadel emporhebt und sogleich der Spitze die flache Hand nähert, so fühlt man die ausströmende Elektricität; man empfindet einen schwachen Hauch, der von der Spitze ausgeht und den Namen des elektrischen Windes führt.

Versuch c. Der elektrische Wind vermag leichte Körper hinwegzuwehen. Oben auf den Boden eines umgekehrten, isolirenden Trinkglases wird eine etwas lange Nadel so gelegt, daß ihre Spitze seitwärts hervorragt. Dann lade man eine Verstärkungsflasche, fasse sie an der äußeren Belegung und halte sie umgekehrt oder horizontal dermaßen, daß ihr Knopf den Knopf der Nadel berührt. Hängt nun ein 12 Cm. langer, schmaler Streifen Seidenpapier in fingerbreiter Entfernung von der Nadelspitze, so wird sein unteres Ende hinweggeweht.

Versuch d. Ein 10 bis 14 Cm. langes Stückchen Draht werde an seinen beiden Enden mit der Feile scharf zugespitzt und nach der Form eines lateinischen S gebogen. Darauf befestige man mit Hülfe einer Nähnadel einen recht dünnen leinenen Faden an einen Kork und schiebe durch seine Mitte den sichelförmig gebogenen Draht so, daß er vollkommen horizontal schwebt, sobald man den Faden aufhebt. Von dem Draht bis zum Aufhängepunkte habe der Faden 25 Cm. Länge und werde von einem nicht isolirenden Gestell getragen. Wählt man als Gestell eine Weinflasche, in deren Kork ein gebogener Draht befestigt ist, so winde man um diesen den Faden einige Male herum und lasse sein freies Ende neben der Flasche

Fig. 214.

bis auf den Tisch herabhängen, weil die Flasche sonst isoliren würde. Endlich wird eine geladene Verstärkungsflasche mit ihrem Knopf nahe über eine Biegung der Sichel gehalten; sie bewegt sich rückwärts, zuerst langsam, aber jedesmal, wenn eine der Sichelspitzen unter dem Knopf der still gehaltenen Flasche wegeilt, und man das Zischen der ausströmenden Elektricität vernimmt, wird die drehende Bewegung der Sichel geschwinder. Der Knopf der positiven Belegung zieht in die Sichelspitze negative Elektricität herbei, dieselbe strömt in die benachbarten Lufttheilchen aus, und, von ihnen abgestoßen, bewegt sich die gleich elektrische Sichel rückwärts. Die Zeichnung stellt eine in der Mitte mit einem Hütchen versehene und auf einer Spitze schwebende Sichel dar, wie sie von den Mechanikern gearbeitet wird.

§. 185. Verschiedenheit des Spitzenlichts für beide Elektricitäten.

Wenn man im Dunkeln eine Spitze so anbringt, daß aus ihr Elektricität ausströmt, so nimmt man an der Spitze eine Lichterscheinung wahr, die man das elektrische Spitzenlicht genannt hat, und die sich für positive Elektricität anders darstellt, als für negative.

Versuch a. Die Lichterscheinung an einer positiv elektrischen Spitze. Nachdem man am Abend Licht angezündet hat, lege man auf ein isolirendes, umgekehrtes Trinkglas eine Stecknadel so, daß deren Spitze seitwärts hervorragt, und klebe sie zur Noth mit Wachs fest. Mittels des Elektrophors wird eine Verstärkungsflasche geladen, das Licht entfernt, und der Knopf der Flasche an den Nadelknopf gehalten, indem man sie an der äußeren Belegung umfaßt. Die positive Elektricität der inneren Belegung strömt aus der Spitze, und man nimmt Lichtstrahlen wahr, die, von der Spitze ausgehend, auseinandergehen, einen Lichtbüschel, der sich immer weiter ausbreitet.

Versuch b. Die Lichterscheinung an einer negativ elektrischen Spitze. Man stelle die geladene Verstärkungsflasche behutsam auf das Trinkglas, so daß die äußere Belegung die Nadel berührt; dann entferne man die Hand von der äußeren Belegung, lösche das Licht aus und fasse den Knopf der Flasche an. Es strömt die negative Elektricität der äußeren Belegung aus der Spitze, während die positive durch die Hand abfließt. Man sieht aber die negative Elektricität von der Spitze aus sich nicht in Strahlen verbreiten; sondern es erscheint nur ein leuchtender Punkt, eine kleine leuchtende Kugel.

§. 186. Verschiedenheit der Lichtenberg'schen Figuren für beide Elektricitäten.

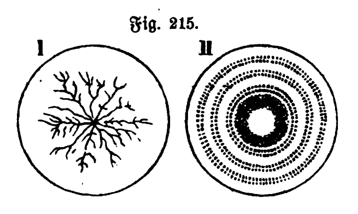
Den Unterschied beider Elektricitäten zeigen auch die, nach ihrem Entdecker benannten, Lichtenberg'schen Figuren. Man bedarf zu ihrer Darstellung erstlich einer dünnen Harz- oder Siegellackplatte, die man

aus einer Siegellackstange bereitet. Ein Stück Blech, welches bei einer Breite von 8 Cm. eine Länge von 14 Cm. besitzen möge, wird horizontal auf einen Dreifuß oder auf den Untersatz von einer Thee- oder Kaffeemaschine gelegt, eine Spirituslampe untergestellt und angezündet. Bald ist das Blech hinreichend erwärmt. Man halte mitten darauf das eine Ende einer Siegellackstange und beschreibe mit ihr, während sie unten abschmilzt, auf der Blechplatte immer größere ovale Figuren, wie wenn man Farben reibt. Man wird von einer gewöhnlichen Siegellackstange fast Nichts übrig behalten. Die Hitze darf nie so stark werden, daß sich Blasen in der schmelzenden Masse bilden; sollte dies der Fall sein, so ist die Spirituslampe auf einige Augenblicke zu entfernen. Das Blech ist so lange zu erwärmen, bis die Siegellackmasse eine vollkommen glatte Fläche bildet; dann läßt man sie erkalten.

Ein zweites Erforderniß ist Bärlappsamen, semen Lycopodii, jener schwefelgelbe Blüthenstaub, von dem man in jeder Apotheke für zehn Pfennige eine zu den Versuchen hinreichend große Menge erhält.

Versuch a. Positive Figur I. Man hält die geladene Verstärkungsflasche an der äußeren Belegung und berührt mit ihrem Knopfe eine Stelle der Siegellackplatte; die Elektricität wird mit einem kleinen Funken überspringen und, da Siegellack kein Leiter ist, nach allen Seiten sich wenig ausbreiten. Streut man nun behutsam wenig Bärlappsamen auf den Siegellack, so halten die Stellen, wohin die Elektricität sich begeben hat, den Blüthenstaub fest. Fächelt man das nicht Festgehaltene mit einem Stück Papier hinweg, so bildet der Staub auf dem Siegellack eine strahlenartige Figur; Strahlen gehen von ihrem Mittelpunkte nach allen Seiten und zertheilen sich noch in feinere Verzweigungen.

Fig. 215.



Versuch b. Um die negative Figur II zu erhalten, ladet man die innere Belegung der Flasche negativ, die äußere positiv. Zu dem Ende stellt man die Verstärkungsflasche auf ein umgekehrtes Trinkglas, hält mit der einen Hand, nicht wie sonst, die Außenseite, sondern den Knopf und läßt aus dem Elektrophordeckel Funken zur äußeren Belegung überspringen, und zwar mehr, als man für die Darstellung der positiven Figur angewandt hat. Ist die Flasche hinreichend geladen, so stellt man sie auf den Tisch, läßt den Knopf los, umfaßt mit der Hand die äußere Belegung und berührt mit dem jetzt negativ elektrischen Knopfe einen Punkt der Siegellackplatte, welcher der positiven Figur nicht zu nahe liegt. Nachher wird wieder Bärlappsamen aufgestreut, und es entstehen kleine runde Figuren, die sich häufig in einem Kreise gruppiren. Die Lichtenberg'schen Figuren erhalten sich, wo sie nicht der Zugluft ausgesetzt sind, nicht selten Monate lang. Hat die Siegellackplatte ihre glatte Oberfläche verloren, so muß sie umgeschmolzen werden, indem man das Blech wieder über der Lampe erwärmt.

Wirkungen der Reibungselektricität.

§. 187. A. Mechanische Wirkungen.

Die mechanischen Wirkungen der durch Reiben hervorgebrachten Elektricität sind Bewegungen, wie die Anziehung und Abstoßung leichter Körper oder die drehende Bewegung der elektrischen Sichel, und Durchbohrungen. Wenn die beiden Elektricitäten durch einen nicht zu starken Nichtleiter an ihrer Vereinigung gehindert werden, so durchbrechen sie denselben.

Versuch. Man nehme ein Blättchen Schreibpapier, das glatt und nicht beschrieben ist, damit man die durchbohrte Stelle leichter auffinden könne, und halte es an die äußere Belegung einer geladenen Verstärkungsflasche. Legt man nun die eine Kugel des Ausladers mitten auf das Papier, und nähert man die andere Kugel dem Knopf der Flasche, so erscheint der Entladungsfunke, als wenn die Leitung gar nicht durch das Papier unterbrochen wäre. In dem Papier findet man eine feine Oeffnung, die nach beiden Seiten aufgeworfene Ränder hat, ein Zeichen davon, daß die sich vereinigenden Elektricitäten, die eine dem Knopfe, die andere der äußeren Belegung zueilend, in entgegengesetzten Richtungen das Papier durchbrochen haben.

§. 188. B. Elektrische Lichterscheinungen.

Zu den Lichterscheinungen, welche durch Elektricität hervorgebracht werden, gehört außer dem elektrischen Funken und dem Spitzenlicht noch das elektrische Licht in einem luftverdünnten Raum.

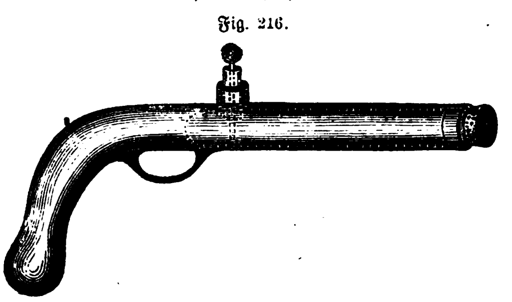
Versuch. In einen Probircylinder werde etwas Quecksilber gegossen und, indem man das mit einem Papierstreifen umwickelte Glas mit der Hand hält, über der Spirituslampe gekocht. Quecksilberdämpfe werden den größten Theil des Glases erfüllen und die Luft daraus vertreiben. Die Quecksilberdämpfe dürfen nicht eingeathmet werden, weshalb das Kochen am offenen Fenster vorzunehmen ist. Man korkt das Glas zu und entfernt die Lampe. Schüttelt man nun das Probirgläschen, so wird es ein hängendes Goldschaumblättchen anziehen, eine Folge davon, daß durch die Reibung zwischen Glas und Metall Elektricität erregt wird. Und geht man des Abends, nachdem das verschlossene Gläschen über der Lampe etwas erwärmt ist, in ein dunkles Zimmer und schüttelt hier das Quecksilber, so fahren blitzähnliche Lichtscheine in dem Glase hin und her, ähnlich wie es im Großen beim Nordlicht der Fall ist.

§. 189. C. Erregung von Wärme durch Elektricität.

Daß durch den elektrischen Funken Wärme erregt wird, läßt sich durch die Entzündung von Knallgas, einem leicht entzündlichen Luftgemenge (§. 236), mittels der elektrischen Pistole zeigen.

Versuch a. Man läßt sich von starkem Weißblech oder Messingblech eine 2 Cm. weite und 8 bis 14 Cm. lange Blechröhre verfertigen, die an dem einen Ende geschlossen ist und an dem andern offen bleibt. Nahe dem verschlossenen Ende läßt man die Röhre an einer Stelle durchbohren und in die Bohrung ein engeres, 1 Cm. hohes, offenes Röhrchen löthen. Außerdem bedarf man eines Drahtstückchens von 5 Cm. Länge, an dessen eines Ende ein Metallknopf gelöthet wird, während man das andere rund feilt. Der Draht wird erhitzt und mit einer dicken Lage Siegellack umkleidet. Darauf erhitze man über der Spirituslampe auch die engere Röhre, und schiebt den Draht so hinein, daß die Röhre durch den Siegellack luftdicht verschlossen wird. Noch besser ist es, den Draht in eine kurze Glasröhre und diese in die enge Metallröhre mit Siegellack einzukitten. Das untere, abgerundete Ende des Drahtes muß nur wenig von der gegenüberliegenden Wand der weiten Röhre abstehen, und ein Funke von dem Drahte zum Innern derselben leicht überspringen. Ob dies der Fall sei, davon überzeugt man sich, indem man die Röhre mit der einen Hand hält, hineinsieht und gleichzeitig den elektrisirten Elektrophordeckel dem Knopfe des Drahtes nähert. Ist die Entfernung des Drahtes von der unteren Wand zu groß, so erwärmt man den Draht ein wenig und schiebt ihn so weit hinab, bis im Innern der Röhre die Funken sich deutlich zeigen. Darauf sucht man einen passenden Kork, der die weitere Röhre lose verschließt. Die so angefertigte elektrische Pistole, der man noch einen metallenen Handgriff geben kann, wird am bequemsten mit nicht reinem Knallgas, einem Gemenge von Wasserstoff und atmosphärischer Luft, geladen. Will man sie von Zeit zu Zeit nur einmal abschießen, so schüttet man in ein Medicinglas eiserne Nägel oder Zinkstückchen und gießt darauf verdünnte Schwefelsäure, die das Glas zur Hälfte anfüllt; der Wasserstoff wird sich in Blasen entwickeln; das Glas wird nach einigen Minuten verkorkt. Später öffnet man es, hält die Oeffnung der Pistole darüber und setzt den Pfropfen lose auf dieselbe. Das Abschießen geschieht, indem man die Pistole in der Hand hat und aus dem genäherten Elektrophordeckel einen Funken auf den Knopf des Drahtes überspringen läßt. Der Funke springt von dem Drahte zur inneren Wand der Pistole, entzündet

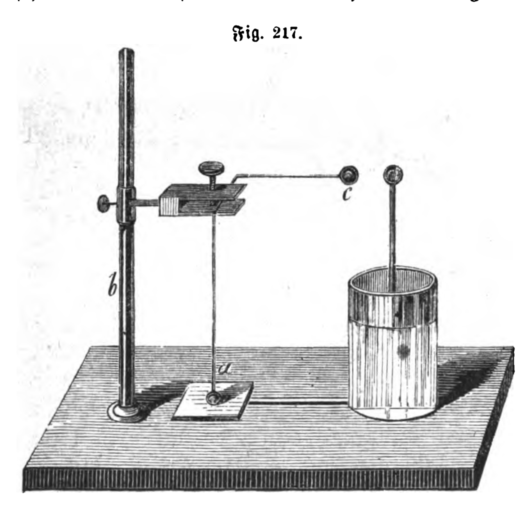
Fig. 216.



durch seine Wärme das Knallgas und verwandelt es in eine große Menge Wasserdampf, die, sich ausdehnend, mit einem lauten Knall den Kork fortschleudert. Häufig muß man nach dem Laden der Pistole etwas warten, bis die Gase in ihr sich gehörig mengen. Sicherer ist es, zum Laden ein Platinfeuerzeug zu verwenden, man dreht an demselben die Kapsel mit dem Platinschwamm zur Seite und hält die Mündung der Pistole über die Ausströmungsöffnung des Feuerzeugs; an dem Sinken der Flüssigkeit in demselben lernt man bald abmessen, wie viel Wasserstoff in die Pistole strömen muß, damit er sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Knallgas menge, und hat dabei den Vortheil, mehrmals hintereinander den Versuch anstellen zu können, besonders wenn die Pistole 8 bis 10 Cm. lang ist (§. 238).

Versuch b. Schießpulver läßt sich mit einer gewöhnlichen Verstärkungsflasche nicht ohne Weiteres entzünden; wohl aber explodiren beim Hindurchgehen des elektrischen Funkens leichter entzündliche Körper, die auch das sie berührende Schießpulver zur Explosion nöthigen. Man menge vorsichtig eine kleine Messerspitze von chlorsaurem Kali mit etwas weniger Schwefelantimon und vermeide dabei, um nicht dadurch die Explosion hervorzubringen, alles Stoßen und starke Reiben. Das Gemenge schüttet man auf ein Metallblech und bringt oben darauf den Knopf einer größeren Stecknadel. Ein Gestell zum Tragen der Nadel kann man sich herstellen, indem man in den Kork einer kleinen Flasche wagerecht einen Holzstab befestigt, und durch diesen die Nadel in senkrechter Stellung schiebt, oder indem man einen Glasstab b benutzt. Die Entladung der Verstärkungsflasche durch das explodirende Gemenge geschieht so, daß man unter die Metallplatte das eine Ende eines mit Wasser gut angefeuchteten Bindfadens schiebt; an den Bindfaden, der als weniger guter Leiter die Entladung verlangsamen soll, befestigt man einen Draht, und auf den Draht stellt man die Verstärkungsflasche. Ein zweiter Draht wird an das obere Ende der Nadel gehängt; sein anderes Ende wird ebenfalls zu einem Ringe gebogen, und man nähert diesem Ring schnell den Knopf der Verstärkungsflasche. (Auch kann man einen kurzen Draht an dem einen Ende in eine Glasröhre kitten und an sein anderes Ende eine Metallkugel löthen und sich so einen Auslader fertigen, den man an der Glasröhre

Fig. 217.



anfaßt. Der Leitungsdraht wird über den Draht des Ausladers gehängt, und dessen Kugel schnell dem Knopf der Flasche genähert.) Die Explosion wird erfolgen, wenn nur der Knopf der Nadel das Pulver berührt. Körnchen Schießpulver, dicht daneben angebracht, verpuffen gleichfalls. Den Versuch §. 187 kann man auch so anstellen, daß man in unserer Vorrichtung das Papier an die Stelle des Pulvers legt.

Am 23. Januar 1744 hielt die von Friedrich dem Großen wiederhergestellte Akademie der Wissenschaften zu Berlin ihre erste öffentliche Sitzung. Bei dieser Gelegenheit war der glänzenden Versammlung eine außerordentliche Ueberraschung zugedacht. Dr. Ludolf erbat sich von einem der anwesenden Hofcavaliere einen Degen und setzte durch denselben mittels eines elektrischen Funkens Schwefeläther in Brand. Klingenstierna zündete vor König Friedrich von Schweden mit einem Eiszapfen Alkohol an, der in einem Löffel enthalten war. Die Wiederholung dieser Versuche wurde eine beliebte Unterhaltung und förderte das Interesse für die elektrischen Erscheinungen.

§. 190. D. Physiologische Wirkungen der Reibungselektricität.

Die Wirkungen, welche die Reibungselektricität auf lebendige Wesen, besonders auf den menschlichen Körper ausübt, bestehen, wie es sich bei jedem elektrischen Funken und stärker bei der elektrischen Erschütterung gezeigt hat, in einer Reizung der Nerven und Muskeln. Daher haben die Aerzte die Elektricität bei solchen Krankheiten mehrfach mit günstigem Erfolge angewandt, die aus einer zu geringen Thätigkeit des Nerven- und Gefäßsystems herrühren. Solche elektrische Kuren wurden Monate lang fortgesetzt; der zu heilende Körpertheil wurde zuvor mit wollenem Zeuge gerieben, und man ließ entweder eine große Anzahl kleinerer Funken auf ihn überspringen, oder man verband durch einen Metalldraht eine Stelle des kranken Körpertheils mit der äußeren Belegung und brachte an eine andere den Knopf einer Verstärkungsflasche, so daß der leidende Theil des Körpers der Erschütterung ausgesetzt war. Allein beide Heilungsweisen sind durch die galvanischen Vorrichtungen verdrängt worden und wenig in Gebrauch (§. 225).

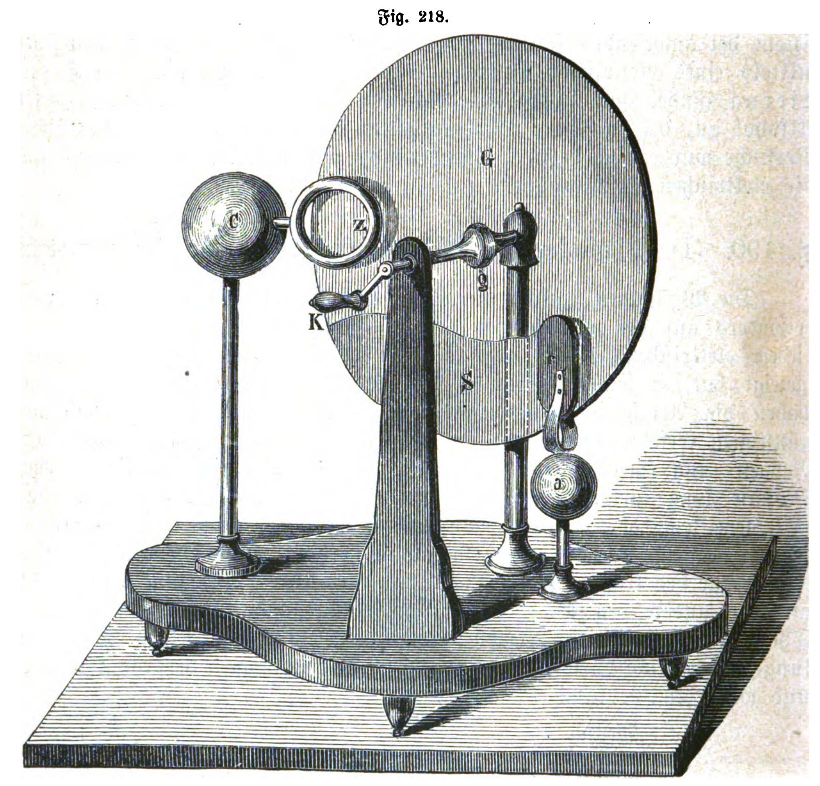
§. 191. Die Elektrisirmaschine.

Um die angegebenen Wirkungen der Elektricität in stärkerem Grade hervorzurufen, wird am bequemsten eine Elektrisirmaschine angewandt. Deutsche Naturforscher, Hausen und Winkler zu Leipzig, haben 1743 die erste Elektrisirmaschine gebaut. Es besteht jede Elektrisirmaschine außer dem nöthigen Gestell aus drei Haupttheilen, dem geriebenen Körper, dem Reibzeug und dem Conductor oder Hauptleiter.

a. Der geriebene Körper ist gewöhnlich eine runde Scheibe aus starkem Spiegelglas; sie kann einen Durchmesser von 30 bis 150 Cm. haben und muß am Rande geschliffen und in der Mitte durchbohrt sein

(Die Mechaniker liefern solche durchbohrte Scheiben mit einem Durchmesser von 36,5 Cm. für ungefähr 6 Mark, mit einem Durchmesser von 47 Cm. für 9 bis 10 Mark. Wir nehmen an, es sei die Absicht, eine Maschine mit einer Scheibe von 36,5 Durchmesser zu bauen; zunächst für eine solche gelten die folgenden Maßbestimmungen.) Durch die Bohrung der Scheibe wird eine aus festem Holz gefertigte Axe geschoben, die 36 Cm. lang und in der Mitte, wo sie etwas dicker ist, mit Schraubengängen versehen ist. Zwei gleiche, polirte kreisrunde Holzplatten von 3,5 Cm. Durchmesser und 1,5 Cm. Dicke werden in der Mitte mit Schraubengängen versehen, so

Fig. 218.



daß sie sich auf die Axe schrauben lassen. Besser, als eine hölzerne Axe, ist eine ebenso lange Axe aus Horngummi oder Glas. Eine Axe aus Horngummi wird ähnlich gefertigt, wie eine hölzerne. Als gläserne Axe dient ein massiver Glasstab; eine kurze, hohle Schraubenspindel aus Holz, auf welche sich die beiden Holzplatten schrauben lassen, wird über den Stab geschoben und in seiner Mitte durch Hausenblase oder recht guten Leim befestigt; die beiden Enden des Glasstabes versieht man mit hölzernen oder metallenen Fassungen, die in runde Zapfen auslaufen. Der eine Zapfen hat eine vierkantige Verlängerung; an dieselbe wird der Arm

einer Kurbel K befestigt, welche mit der Hand umgedreht werden soll. Der Kurbelarm wird aus Metall oder Holz gearbeitet und ist 15 Cm. lang, während der Handgriff eine Länge von 10 Cm. hat. Die Glasscheibe, welche über die auf der Axe befindliche Schraubenspindel geschoben und zwischen die kleinen Holzplatten g gepreßt werden soll, erwärmt man vorsichtig an einem Ofen, überzieht um ihren Mittelpunkt auf beiden Seiten der Scheibe einen Kreis von 3,5 Cm. Durchmesser mit geschmolzenem Wachs und drückt darauf ein ebenso großes Stück Barchent oder weiches, dickes Leder. Ebenso befestigt man an die eine Holzplatte ein Stück Barchent. Ist die Scheibe völlig erkaltet, so wird die auf einer Seite überzogene Holzplatte auf die Axe geschraubt, die Glasscheibe über diese geschoben, zwischen das Glas und die andere Holzplatte noch ein Stück Barchent gelegt und durch Umdrehen dieser zweiten Holzplatte die Glasscheibe an die Axe befestigt. Da das Glas zwischen vier Scheiben Barchent eingeklemmt ist, brauchen die Holzplatten gegen das Glas nur einen mäßigen Druck auszuüben, und es ist der Gefahr, zu zerspringen, weniger ausgesetzt.

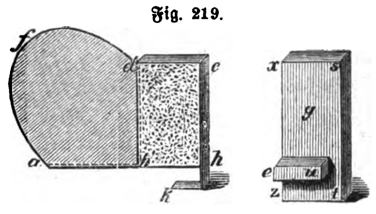
Das Gestell der Maschine besteht aus einem 2,5 Cm. dicken Grundbrett und zwei lothrechten Tragsäulen. Es ist am einfachsten, dem Grundbrett die Form eines länglichen Vierecks zu geben, und es ist zweckmäßig, wenn es ein ausreichendes Gewicht besitzt, damit man nicht nöthig habe, beim Gebrauch der Maschine das Grundbrett durch eine Schraubzwinge an die Tischplatte festzuklemmen. Das Grundbrett muß so breit sein, als die Axe der Glasscheibe sammt ihren runden Zapfen lang ist; die Länge des Brettes beträgt für eine Glasscheibe von 36,5 Cm. Durchmesser 48 Cm. Die Tragsäulen werden, besonders wenn die Axe aus Glas oder Horngummi besteht, beide aus Holz gearbeitet. Sie sind 2,5 Cm. dick, haben unten eine Breite von 8, oben von 6 Cm. und eine solche Höhe, daß die Mitte der Zapfenlager sich 36 Cm. hoch über dem Grundbrett befindet. Man fügt die Tragsäulen, einander gegenüber, von den Seiten her, an das Grundbrett; von dem einen Ende desselben bleiben sie 14,25 Cm. entfernt; ruht die Axe auf den Säulen, so befindet sich der äußerste Punkt der Glasscheibe lothrecht über der einen Kante des Grundbrettes. Oben an den Tragsäulen sind die Lager für die Zapfen der wagerecht liegenden Axe anzubringen, was auf verschiedene Weise geschehen kann. Man kann nämlich die Tragsäulen, deren Höhe sammt dem in das Grundbrett eingefügten Stück für diesen Fall 38,5 Cm. beträgt, oben wagerecht begrenzen und mit einer halbkreisförmigen Aushöhlung versehen, in welche die Zapfen passen. Dann bildet das Holz die untere Hälfte des Zapfenlagers; die obere Hälfte fertigt man aus einem Streifen von starkem Messingblech, der in der Mitte halbkreisförmig nach oben gebogen wird und auf beiden Seiten in wagerechte Strecken ausläuft; jeder Messingstreifen wird durch 4 Holzschrauben oben auf die Säule befestigt. Man kann aber auch beide Hälften der Zapfenlager aus Holz machen. Man giebt den Tragsäulen eine Gesammthöhe von 40,75 Cm., rundet sie oben ab und durchbohrt beide, so daß die Zapfen der Axe in die Bohrungen

passen. Darauf wird das oberste Stück der Tragsäulen in einer wagerechten Linie, die durch die Mitte der Bohrungen führt, abgesägt. Man glättet die Bohrungen, benetzt sie mit Oel, prüft, ob die Axe sich in den Lagern mit sehr geringer Reibung drehen läßt, und befestigt den obern Theil des Zapfenlagers durch zwei nicht zu kurze Holzschrauben auf seine Tragsäule. Man kann den oberen hölzernen Theil des Zapfenlagers auch an die Säule befestigen, indem man ein starkes, kreisförmiges Stück Messingblech von 5 Cm. Durchmesser auswendig lothrecht halb an die Tragsäulen, halb an den oberen Theil des Zapfenlagers mit je 3 Holzschrauben befestigt; an dem einen Zapfenlager, in dessen Nähe sich die Kurbel befindet, muß das Blech in der Mitte durchbohrt sein, damit die Verlängerung des Zapfens hindurchgeschoben werden könne. Bevor man die Holzschrauben, welche mit etwas Baumöl benetzt werden, völlig festschraubt, untersuche man, ob die Glasscheibe, während sie gedreht wird, in derselben lothrechten Ebene bleibt. Man stellt lothrecht genau unter die Scheibe ein dünnes Brett und beobachtet, während man mittels der Kurbel die Scheibe langsam in Umdrehung setzt, ob sie aus ihrer Ebene heraustritt und der einen Tragsäule sich nähert. Findet sich dieser Fehler, so hilft man ihm ab, indem man die eine der Holzplatten, zwischen denen die Scheibe festgeklemmt ist, losschraubt und an angemessener Stelle entweder etwas Wachs abschabt, oder noch etwas auftröpfelt.

b. Der zweite Haupttheil der Elektrisirmaschine ist **das Reibzeug.** Zu demselben gehören zunächst die beiden Reibkissen r, welche eine Stelle der Scheibe zwischen sich fassen und diese auf beiden Seiten reiben sollen. Die Reibkissen haben nach außen eine hölzerne Rückwand, nach der Scheibe zu eine Polsterung. Die Brettchen (r in Fig. 218), welche die Rückwand bilden und 1,2 bis 1,5 Cm. dick sind, erhalten für kleine und große Scheiben dieselbe Breite von 5 Cm.; ihre Länge beträgt fast $^2/_3$ des Scheibenhalbmessers, für unsere Maschine 11 Cm.; die Brettchen werden sauber geglättet und können an den Ecken abgerundet werden. Was die Polsterung der Reibkissen betrifft, so wird dieselbe häufig aus einem Stück von dickem, weichem Filz gemacht, welches die Gestalt und Größe des Brettchens hat und auf seine innere Fläche aufgeleimt wird. Man kann aber die Polsterung auch aus mehreren Lagen von wollenem Zeuge, Flanell oder Tuch machen. Drei solcher Stücke, so groß wie das Brettchen, werden auf dessen innere Fläche über einander gelegt, und darüber ein etwas größeres Stück glattes Seidenzeug; letzteres wird an alle vier Kanten des Brettchens festgeleimt. Der Ueberzug der Polsterung besteht aus Seidentaffet; das Stück Seidenzeug ist so groß zu wählen, daß es zugleich noch einen Flügel S bildet, welcher von jedem Reibkissen r (Fig. 218) bis nahe an die Ringe Z des Conductors reicht. Diese Flügel des Reibzeugs, welche sich an die elektrisch gewordene Glasscheibe anlegen, haben die Bestimmung, zu verhindern, daß die Elektricität der Scheibe sich der Luft mittheile und verloren gehe. Bezeichnet in Fig. 219 dchb die innere Fläche des einen Reibkissens, so ist afdch das Stück Taffet; es ist an drei Kanten des Brettchens festgeleimt, oben über dc, rechts bei ch und

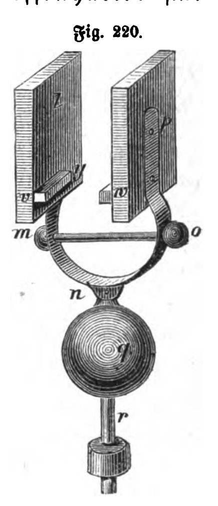
unten unter bh. Es ist zweckmäßig, den Flügel afdb unten zu befestigen; in dieser Absicht setzt man einen wagerechten, 12 Cm. langen Stab aus Horngummi (einen dicken Federhalter) ab unten in das Brettchen des Reibkissens ein und klebt das untere Ende des Flügels mit Leim oder Siegellack an den Stab. Der Stab befindet sich von der Scheibe aus nach außen; der untere Rand des Flügels, welcher nicht straff anzuspannen ist, wird unten nach außen um den Stab geschlagen und auswendig angeklebt. Beim Einsetzen der Stäbe, überhaupt bei Anfertigung der Reibkissen ist nicht zu übersehen, daß beide symmetrisch zu bauen sind und sich zu einander verhalten, wie die rechte Hand zur linken.

Fig. 219.



Weiter gehört zum Reibzeug eine Vorrichtung, welche die Reibkissen hält und gegen die Scheibe drückt. An diesen Reibkissenhalter sind folgende Forderungen zu stellen. Die Reibkissen müssen sich leicht abnehmen lassen, weil sie wiederholt gereinigt und mit Amalgam überzogen werden sollen. Die Rückwand der Reibkissen muß von Stiften, Federn und Schrauben frei bleiben, weil sie sich sonst nicht eben auf den Tisch legen lassen, und das Auftragen des Amalgams unbequem werden würde. Ferner müssen die Reibkissen ausreichende Beweglichkeit haben, damit sie, wenn auch die Glasscheibe nicht an allen Stellen gleich dick ist oder beim Drehen etwas aus ihrer Ebene weicht, doch sich genau an das Glas anlegen. Endlich muß der Druck der Kissen gegen die Scheibe sich ändern lassen, weil mit der Zeit die Polsterung zusammengedrückt wird. Diesen Forderungen entspricht folgende Einrichtung. Ein 35 Cm. langer, 3,5 Cm. breiter Streifen von starkem, elastischem Messingblech (§. 70) wird zu einer hufeisenförmigen Feder gebogen; der gekrümmte Theil derselben mno befindet sich unten; die beiden lothrechten Arme, op und der in der Zeichnung zum Theil nicht sichtbare, reichen gleich weit nach oben. Unten an die Feder werden zwei abgerundete und durchbohrte Ansätze (aus Messingblech) gelöthet; der Träger q der Feder hat oben zwei ähnliche durchbohrte Ansätze; durch die vier Bohrungen wird ein an den Enden abgerundeter Stift in wagerechter Lage geschoben, so daß die ganze Feder gelenkartig befestigt ist und sich nach beiden Seiten bewegen kann. Einige Cm. über dem untersten Theil der Feder werden ihre beiden Arme durchbohrt; durch die Bohrungen wird ein dicker Messingdraht mo geschoben, dessen Enden Schraubenspindeln bilden; auf jede läßt sich eine Messingkugel von 2 Cm. Durchmesser schrauben. Durch Umdrehen derselben regulirt man den Druck der Reibkissen gegen die Scheibe

Fig. 220.



welcher immer nur sehr mäßig sein darf. Der Stab mo ist bei manchen Maschinen zwischen den Armen der Feder halbkreisförmig nach unten gebogen; die Enden des Stabes dürfen nicht aus den Kugeln hervorragen. Von den lothrechten Armen der Feder trägt jeder oben ein 12,3 Cm. langes und 5,5 Cm. breites, polirtes Brettchen, an dessen äußere Fläche er durch zwei Holzschrauben befestigt ist. Ein fingerbreiter Stanniolstreifen ist wagerecht an dasselbe geklebt, von der Feder bis zur inneren Fläche. Beide Brettchen des Reibkissenhalters sind von einander ungefähr 5 Cm. entfernt, und ihre breiten Flächen sind gleichlaufend mit der Scheibe. Unten, 11 Cm. von der oberen Kante xs (in Fig. 219) entfernt, ist an die innere Fläche der Brettchen wagerecht ein vierkantiges Stäbchen, 5 Cm. lang, 8 Mm. breit und ebenso dick, befestigt; an der von dem Conductor abgewandten Seite bleibt dies Stäbchen eu 0,5 Cm. von der Kante st seines Brettchens entfernt. An das Brett jedes Reibkissens bdch ist, an die von dem seidenen Flügel entfernte lothrechte Kante st, ein aus Messingblech geformter Haken hk geschraubt, dessen wagerechte Strecke k sich 9 Mm. unter dem Brettchen befindet. Das Reibkissen akhcf kann in den Reibkissenhalter (Fig. 220) auf zweierlei Weise eingesetzt werden, entweder von v aus oder von y aus. In dem ersten Fall setzt man den Haken k auf das wagerechte Stäbchen bei v, schiebt das Reibkissen nach y so weit, daß der Haken das Stäbchen verläßt, drückt das Kissen nach unten, so daß der Haken das Stäbchen umschließt, und schiebt, indem man gleichzeitig den Flügel abdf etwas gespannt hält, das Kissen einige Cm. nach v zu. Will man das Reibkissen von y her einsetzen, so bringt man dasselbe dergestalt zwischen die Glasscheibe und das Brettchen l, daß das Kissen ebenso weit nach oben reicht, wie dieses, und schiebt das Kissen nach v zu. Abgenommen werden die Reibkissen, indem man sie aushakt, d. h. nach y zu schiebt. (Eine Vereinfachung dieser Einrichtung besteht darin, daß man die an die Feder geschraubten Brettchen wegläßt und an die Arme der Feder selbst, die länger gearbeitet werden, wagerechte Metallstäbchen löthet; unten in das Brett des Reibkissens, das links, rechts und oben vor der Feder hervorragt, wird ein aus starkem Draht geformter Haken eingeschraubt.) Die in der beschriebenen Weise angebrachten Reibkissen haben große Beweglichkeit; der Haken läßt bei ausreichendem Spielraum zu, daß sie sich um eine lothrechte Linie oder Axe drehen; die Feder aber, welche gelenkartig befestigt ist, kann sich sammt dem Kissen um eine wagerechte Axe drehen.

Das Reibzeug wird negativ elektrisch (§. 169), wenn man die Scheibe mittels der Kurbel umdreht. Will man dies darthun, so muß das Reibzeug isolirt werden. Man befestigt die Feder desselben gelenkartig oben auf eine hohle Messingkugel q von 4 Cm. Durchmesser und kittet unten in dieselbe einen 8 Cm. langen Glasstab r, dessen hölzerne Fassung mittels eines Zapfens in das Grundbrett eingesetzt wird. Der Punkt, in welchem dies geschieht, kann lothrecht unter der Axe der Scheibe liegen, und für diese Einrichtung passen die angegebenen Maße; aber er kann auch etwas weiter von dem Conductor entfernt sein. Indessen sind

die Vortheile, welche die Isolirung des Reibzeugs gewährt, nicht erheblich. Das Reibzeug liefert kürzere Funken, als der Conductor, weil es weniger gut isolirt ist; das Spitzenlicht an einer negativ elektrischen Spitze läßt sich auch ohne Isolirung des Reibzeugs zeigen, und man kann auf der innern Belegung einer Verstärkungsflasche negative Elektricität anhäufen, indem man ihren Knopf in die Hand nimmt, sie umkehrt und, nachdem aus dem Conductor Funken positiver Elektricität zur äußeren Belegung der Flasche übergesprungen sind, sie auf ein Isolirgestell stellt. Unterläßt man die Isolirung des Reibzeugs, so nimmt man als Träger der Feder einen polirten hölzernen Cylinder von 3 Cm. Durchmesser und 12 Cm. Höhe; unten hat derselbe einen Zapfen, oben einen durchbohrten Ansatz, an den die Feder gelenkartig befestigt wird. Für alle Fälle ist es, weil das Holz unvollkommen leitet, nöthig, beim Gebrauch der Maschine die negative Elektricität des Reibzeugs nach dem Fußboden abzuleiten. Man versieht das eine Ende einer ausreichend langen Kette, einer alten Kette von einer Wanduhr, mit einem Haken, der aus Draht gebogen wird, und hakt denselben an die Feder des Reibzeugs oder an den Stab mo, während das andere Ende der Kette auf dem Fußboden liegt. Oder man bildet aus beliebigem Draht mehrere, etwa drei, Spiralen, indem man den Draht um ein Stäbchen windet und dann abzieht; die erste Spirale hängt man durch einen Haken an das Reibzeug, die zweite an die erste und die dritte, die zum Theil auf dem Fußboden ruht, an die zweite. Wenn das Reibzeug von einer Glassäule getragen wird, und in seiner Kugel q negative Elektricität angesammelt werden soll, so bleibt dieselbe isolirt, und man leitet durch eine an den Conductor gehängte Kette dessen positive Elektricität in den Fußboden ab.

Auf das Seidenzeug der Reibkissen bdch (Fig. 219), aber nicht auf die Flügel abdf, die stets ganz rein sein müssen, wird Kienmayrsches Amalgam getragen, das fast in jeder Apotheke zu haben ist. Es ist das eine Metallmischung aus 1 Gewichtstheil Zinn, 1 Theil Zink und 2 Theilen Quecksilber; dieselbe ist giftig und verdirbt metallene Gegenstände, z. B. Ringe; man wird es vermeiden, sie mit den Fingern zu berühren. Man zerkleinert das Amalgam zu einem möglichst feinen Pulver in einer kleinen porcellanenen Reibeschale, die zu nichts Anderem gebraucht wird. Statt derselben kann man sich mit einem Porcellanscherben behelfen und sich eine Reibekeule herstellen, indem man einen Metallknopf oder eine Schraubkugel an das eine Ende eines 15 Cm. langen Stabes anschraubt. Man reibt auf dem seidenen Ueberzug der Reibkissen mit dem Finger wenig ungesalzenes Schweinefett oder Talg oder Cacaobutter ein, damit das Amalgam hafte; doch hüte man sich wohl, zu viel Fett aufzutragen, weil dadurch die Wirkung verringert, und ein Abreiben der Glasscheibe mit leinenen Tüchern nöthig wird. Darauf schüttet man etwas Amalgam auf die Seide, nimmt ein glattes Stück Eisen oder Glas (einen Probircylinder), breitet mit demselben das Amalgam auf dem Kissen aus und glättet es mit demselben. Die Wirkung des Amalgams dauert lange Zeit, wenn man vor jedem Gebrauch der Maschine

mittels eines Läppchens dasselbe behutsam von Staub befreit und darauf wieder glättet. Ist das Auftragen von frischem Amalgam nöthig geworden, so entfernt man das alte mittels eines Bausches von Fließpapier, bringt wenig **Baumöl** oder Talg auf die Seide, reibt es mit einem Läppchen ein, schüttet Amalgam auf und glättet dasselbe. Die Glasscheibe reibt sich demnach an Metall und wird beim Drehen der Kurbel positiv elektrisch.

c. Die Elektricität der Scheibe wird von dem dritten Hauptheil der Maschine, **dem Conductor** C (Fig. 218) aufgenommen und sammelt sich in ihm an. Der Conductor ist eine isolirte, hohle Messingkugel von 7,5 Cm., bei größeren Maschinen von 10 Cm. Durchmesser; dieselbe muß sorgfältig geglättet und frei von Unebenheiten und Spitzen sein, weil dieselben ein Ausströmen und einen Verlust von Elektricität bewirken. Mitten durch die Kugel führt eine wagerecht eingelöthete Röhre; ebenso ist unten und oben in die Kugel eine lothrechte Röhre eingelöthet; keine derselben darf von der Kugel hervorragen oder scharfe Ränder haben. In die wagerechte Röhre läßt sich auf der von der Scheibe abgewandten Seite eine etwa 8 Cm. lange Messingröhre einschieben, welche an dem einen Ende eine Messingkugel von 3 Cm. Durchmesser trägt und benutzt wird, um etwas an den Conductor anzuhängen. Nach der Scheibe zu ist in die wagerechte Röhre der größeren Conductorkugel die Saugvorrichtung befestigt. Dieselbe besteht aus zwei überall sorgfältig abgerundeten und polirten Ringen von Holz, die 2,5 Cm. dick sind, und deren äußerer Durchmesser 8,5 Cm. beträgt. In die untere Hälfte dieser Saug- oder Zuleitungsringe Z (Fig. 218) ist auf der der Scheibe zugekehrten Seite eine halbkreisförmige Rinne eingeschnitten und mit Stanniol beklebt; in die Rinne sind Metallspitzen so eingesetzt, daß sie vor dem Ringe nicht hervorragen. Die Saugringe werden an ein Messing- oder Holzstäbchen befestigt, das die Gestalt eines liegenden ⊣ hat und in die wagerechte Röhre der größeren Conductorkugel mit hinreichender Reibung eingeschoben wird. Die Ringe, zwischen denen die Scheibe hindurch gedreht wird, sind von ihr nur wenige Mm. entfernt und haben lothrechte Stellung. Die positive Elektricität der Scheibe bewirkt in den Spitzen eine Vertheilung; die positive Elektricität wird nach dem Conductor gedrängt, und die negative strömt gegen die Scheibe und macht, indem sie sich mit der positiven Elektricität derselben vereinigt, die Scheibe unelektrisch.

Eine angemessene Vergrößerung des Conductors hat zur Folge, daß man aus demselben zwar weniger, aber längere und kräftigere Funken erhält. Zur Vergrößerung des Conductors wendet man den Funkenring an; es ist das ein polirter, aus mehreren Stücken zusammengeleimter Holzring, der 3,5 Cm. dick ist und einen Durchmesser von 40—70 Cm. hat. Unten an den Ring ist ein lothrechter hölzerner Stiel befestigt, welcher in die obere Oeffnung der größeren Conductorkugel eingesetzt wird. Ring und Stiel enthalten inwendig einen Eisendraht. Für die gewöhnlichen Versuche ist der Funkenring nicht nöthig.

Der Conductor muß gut isolirt sein; er wird deshalb von einer 1,25—1,75 Cm. dicken, massiven Glassäule getragen; die Auswahl der-

selben, sowie des als Axe dienenden Stabes, ist mit Vorsicht zu treffen, weil es Glassorten giebt, welche sehr unvollkommen isoliren. Die ungefähr 40 Cm. lange Glassäule wird an dem oberen Ende matt geschliffen, damit der Conductor nur durch die Reibung festgehalten werde und sich nöthigen Falls abnehmen lasse. Die größere Conductorkugel darf unten keinen röhrenförmigen Ansatz haben; am besten ist es, wenn sie hier nach oben etwas eingedrückt ist. Die Säule erhält unten eine mit einem Zapfen versehene hölzerne Fassung von solcher Höhe, daß die Mitte der größeren Conductorkugel sich 42 Cm. hoch über dem Grundbrett befindet. Die Mitte der Bohrung für den Zapfen der Glassäule ist 5 Cm. von dem einen Ende des Grundbrettes entfernt und hat von der Mitte der Bohrung für den Reibzeugträger einen Abstand von 24,75 Cm. Die Entfernung des Conductors von der Axe ist nicht gleichgültig; in der Regel erhält man die größten Funken, wenn der Rand der Scheibe durch den Mittelpunkt der Saugringe geht. Viele Maschinen haben im Grundbrett einen Schlitz für den Zapfen des Conductors, so daß dieser sich der Scheibe nähern oder von ihr entfernen läßt, der Zapfen reicht dann durch das mit Füßen versehene Grundbrett hindurch und wird von unten her durch eine Schraube festgeklemmt.

Noch sei erwähnt, daß man als größere Conductorkugel, wenn auch mit etwas geringerer Wirkung, eine Holzkugel anwenden kann, die sauber mit Stanniol beklebt ist. Die Bohrung für die Glassäule wird vor dem Bekleben angebracht; das Querstäbchen, das die Saugringe hält, kann durch eine Holzschraube befestigt werden. Die kleinere Messingkugel läßt man an einen Draht löthen, dessen freies Ende eine Schraubenspindel bildet. Ist der Draht nicht sehr dick, oder zeigt er Unebenheiten, so schiebt man über ihn seiner ganzen Länge nach eine 1,5 Cm. dicke, polirte Röhre aus Holz. Nimmt man im Dunklen beim Drehen der Scheibe wahr, daß aus der Holzkugel längs der Glassäule Elektricität abströmt, so legt man um die Säule unmittelbar unter der Kugel einen dicken Wulst von Siegellack.

Die Elektrisirmaschine darf nicht an einem feuchten Ort aufbewahrt werden; im Winter steht sie am besten in einem geheizten Zimmer, was indessen nicht unbedingt nöthig ist. Ehe man sie gebraucht oder die Kurbel dreht, muß man das Reibzeug abnehmen und reinigen; ferner muß man die Glassäule, die den Conductor trägt, die Axe und beide Seiten der Scheibe mit reinem Papier und dann mit einem reinen, erwärmten leinenen Tuche abwischen. Staub und Wasserdampf haben sich an das Glas gehängt und machen das Glas zu einem Leiter. Bleibt Staub an der Scheibe, so zieht sich derselbe über das Amalgam des Reibzeuges und hindert die Reibung des Glases an dem Metall. Das Reinigen der Scheibe muß behutsam geschehen; zweckmäßig ist es, mit der linken Hand gegen die eine Seite der Scheibe ein Tuch zu halten, während man mit der rechten die entsprechenden Stellen der andern Seite abreibt. Die besten Dienste leistet die Elektrisirmaschine im Winter in der Nähe des warmen Ofens, nachdem sie daselbst mehrere Stunden gestanden hat. Ist das Wetter feucht, so muß der Ofen stark geheizt werden; dies ist

auch nöthig, wenn mehrere Personen sich in dem Zimmer befinden. Im Sommer stellt man die Maschine vor dem Gebrauch an einen von der Sonne beschienenen Ort, und man öffnet die Fenster. Alle Gegenstände, die nicht nothwendig zu dem anzustellenden Versuch gebraucht werden, besonders brennende Kerzen, stelle man nicht in die Nähe der Maschine. Das Reibzeug lasse man zuerst einen sehr gelinden Druck ausüben. Die Kurbel drehe man langsam. Nach dem Gebrauch schiebt man zwischen die Scheibe und die gelüfteten Reibkissen je ein Blatt Schreibpapier.

Eine für manche Versuche unentbehrliche Nebenvorrichtung ist ein **Isolirgestell;** dasselbe besteht aus einer gut abgerundeten, kreisförmigen Holzplatte von 10 Cm. Durchmesser, welche wagerecht auf ein hohes Trinkglas gelegt wird; man kann die Holzplatte nach Fig. 210 auch oben auf eine Glassäule befestigen, der man einen hölzernen Fuß giebt. Die Höhe des Isolirgestells muß so groß sein, daß die isolirte Platte, wenigstens wenn man mehrere Bretter unter den Fuß legt, den Conductor der Elektrisirmaschine berührt. Auf das Isolirgestell bringt man die Gegenstände, welche elektrisch gemacht werden sollen, und stellt dasselbe so, daß seine Platte den Conductor unmittelbar berührt.

Versuche mit der Elektrisirmaschine.

Versuch a. Hat man die Elektrisirmaschine für das Experimentiren vorbereitet, so ist der erste Versuch, daß man (§. 155) aus dem Conductor Funken zieht, um sich von der Wirksamkeit der Maschine zu überzeugen. Bald wird man ermittelt haben, wie lang die Funken sind, welche die Maschine giebt, wenn sie in gutem Zustande ist. Man erhält die längsten Funken aus der kleineren Conductorkugel, in welcher das Bestreben der Elektricität, sich auszubreiten, am größten ist, indem man der Kugel den Knöchel eines Fingers nähert. Man erhält die kräftigsten und lautesten Funken, indem man der größeren Conductorkugel den Rücken der Hand oder ihre innere Fläche oder die gewölbte Seite eines Eßlöffels nahe bringt, dessen Stiel man in der Hand hält. Beim Ankauf einer Elektrisirmaschine achte man besonders auf die Funkenlänge.

Elektrische Anziehung. §. 153.

Versuch b. Eine Kugel von Sonnenblumenmark an einem dünnen leinenen Faden wird vom Conductor in ziemlich weiter Entfernung angezogen; ebenso ein schmaler Streifen Seidenpapier, den man an seinem oberen Ende festhält.

Versuch c. Eine Stange guten Siegellacks wird an ihrem einen Ende angezündet, die Flamme in Kurzem wieder ausgeblasen, und die geschmolzene Stelle dem Conductor nahe gebracht, während die Scheibe gedreht wird. Von dem Conductor angezogen, entspinnen sich aus der geschmolzenen Masse feine Fäden und setzen sich an den Conductor. Sind dieselben erkaltet, so müssen sie sogleich vom Conductor entfernt werden.

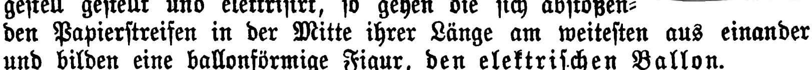
Elektrische Abstoßung. §. 164.

Versuch d. Eine Markkugel an einem seidenen Faden wird vom Conductor zuerst angezogen und, wenn sie elektrisch geworden ist, von ihm abgestoßen.

Versuch e. Zwei Markkugeln an leinenen Fäden, die neben einander über den Conductor gehängt sind, stoßen sich ab.

Versuch f. Der elektrische Papierbüschel. Auf ein kleines, rundes Brett befestigt man lothrecht einen oben abgerundeten starken Draht, schiebt oben auf ihn einen Kork und klebt an diesen im Kreise herum schmale Streifen von Seidenpapier, die um den Draht herabhängen. Die Vorrichtung stellt man auf ein Isolirgestell, unter welches man andere Gegenstände legt, so daß der Conductor das Brettchen berührt. Die Papierstreifen fahren nach allen Seiten hin auseinander. — Man kann auch unten über den lothrechten Draht eine kleine kreisförmige Papierscheibe schieben, aus deren Mitte man einen kleinen Kreis ausgeschnitten hat, und diese Scheibe an die unteren Enden der herabhängenden Papierstreifen kleben. Wird diese Vorrichtung auf das Isolirgestell gestellt und elektrisirt, so gehen die sich abstoßenden Papierstreifen in der Mitte ihrer Länge am weitesten aus einander und bilden eine ballonförmige Figur, den elektrischen Ballon.

Fig. 221.



Versuch g. Ein Goldschaumblättchen, auf den Conductor gelegt, fliegt beim Drehen der Maschine in die Höhe.

Versuch h. Um den elektrischen Regen darzustellen, verschafft man sich ein kleines Metallgefäß, schiebt oben durch zwei Bohrungen desselben einen Drahtbügel, dessen Enden abgerundet sind, von solcher Weite, daß mit demselben das Gefäß sich über den Conductor hängen läßt. Der Boden des Gefäßes wird durchbohrt, und ein gläsernes Röhrchen mit sehr feiner Oeffnung mit Siegellack eingekittet. Man kann das Röhrchen aus Siegellack formen, indem man ein dünnes Siegellackstäbchen mit einer heißen feinen Nadel durchbohrt. Gießt man Wasser in das Gefäß, so müssen nur in Zwischenräumen einzelne Tröpfchen aus der Röhre dringen. Hängt man aber das Wassergefäß an den Conductor, und dreht man die Scheibe, so dringt wegen der gegenseitigen Abstoßung der elektrisch gewordenen Wassertheilchen ein zusammenhängender Strahl aus der Ausflußröhre und zertheilt sich in einen feinen Staubregen.

Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Versuch i. Der elektrische Ball. Eine lothrecht aufgestellte Glasstange oder Glasröhre trägt oben am Ende ihres wagerechten Seitenarmes e eine Metallkugel b, die mit dem Conductor in leitende Verbindung gebracht wird. Unter der Kugel befindet sich eine kleinere aus Kork c; es trägt sie ein sehr dünner, federnder Draht, und dieser ist mit dem freien Ende an die Glasstange befestigt. Lothrecht unter den

Kugeln steht ein Metallknopf a, der mit der Erde in leitender Verbindung zu erhalten ist. Von der elektrisirten Kugel b angezogen, bewegt sich der

Fig. 222.

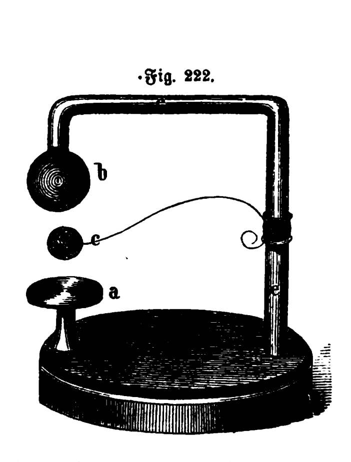
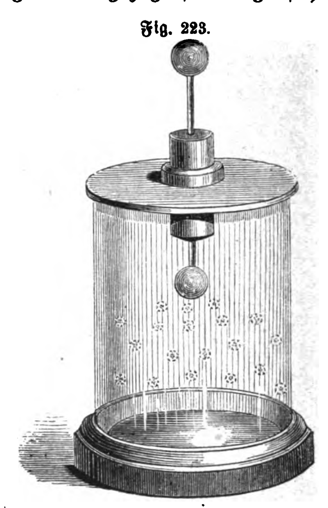
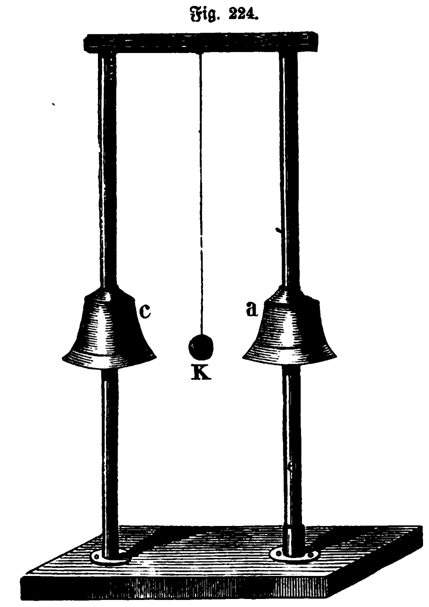


Fig. 223.



Ball nach oben; von ihr abgestoßen, trifft er den Knopf und bleibt, so lange der Kugel genug Elektricität mitgetheilt wird, in auf- und niedergehender Bewegung. (Statt der Glasstange kann ein Streifen von grünlichem Fensterglas angewandt werden, welchem jeder Glaser im Stande ist eine zweckmäßige Form zu geben.)

Fig. 224.



Versuch k. Der elektrische Kugeltanz. Ein niedriger, weiter Lampencylinder wird auf ein Metallblech gestellt. Oben auf ihn wird ein abgerundetes Brett gelegt, in der Mitte durchbohrt, und lothrecht durch die Bohrung ein Draht geschoben.. Die Länge des Drahtes wählt man so, daß er vom Tische bis an den Conductor reicht. Oben und unten werden an den Draht metallene oder hölzerne Kugeln gesteckt. Die Markkugeln (§. 166) liegen unten in dem Cylinder. Der Draht berührt den Conductor. Der unteren Kugel des Drahtes giebt man durch Verschieben desselben eine solche Höhe, daß die Markkugeln auf- und niedertanzen.

Versuch l. Das elektrische Glockenspiel. Auf ein Brett befestigt man zwei 24 Cm. hohe Ständer, den einen von Glas, den andern von Draht oder Holz, schiebt über jeden eine in der Mitte durchbohrte Glocke ohne Klöpfel, wie sie bei den Uhrmachern zu haben ist, und hängt zwischen ihnen an einem seidenen Faden ein Metallknöpfchen K auf. Die isolirte Glocke a wird durch einen Draht, dessen eines Ende man oben in die Durchbohrung der Glocke, zwischen Glas und Metall einschiebt, mit dem Conductor verbunden. Sie wird elektrisch und zieht die Kugel K zuerst an und stößt sie dann ab, so daß sie gegen die andere Glocke c schlägt.

Das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen.

Versuch m. Legt man eine Nadel auf ein Isolirgestell, das den Conductor berührt, so daß die Spitze der Nadel hervorragt, so erhält man aus dem Conductor fast gar keine Funken, weil die Elektricität aus der Spitze ausströmt. §. 184 a.

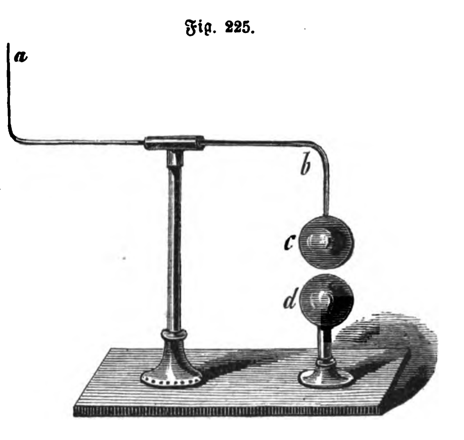
Versuch n. §. 184 b. Den elektrischen Wind fühlt man, wenn man der Nadelspitze die Hand nähert.

Versuch o. §. 184 c. Ein Papierstreifen wird von dem elektrischen Winde hinweggeweht.

Versuch p. Die elektrische Sichel (§. 184 d.) stelle man so auf, daß sie mit der Erde in leitender Verbindung, und ihre Spitzen dem Conductor nahe sind, oder man stellt die Sichel auf das den Conductor berührende Isolirgestell.

Versuch q. Oben an eine lothrecht aufgestellte, isolirende Röhre oder einen Glasstab befestigt man einen wagerechten Draht. Das eine Ende desselben biegt man nach oben um und feilt es spitz. An das untere Ende des Drahtes wird eine Kugel c gelöthet, und unter dieser ein Metallblech oder eine nicht isolirte Kugel d angebracht. Man stellt die Vorrichtung so auf, daß die Drahtspitze a dem Conductor nahe ist, ohne daß Funken vom Conductor zu ihr überspringen. Wird die Scheibe gedreht, so sieht man zwischen den beiden Kugeln, deren Entfernung der Größe der Maschine anzupassen ist, Funken überspringen. Aus der Spitze strömt negative Elektricität zum Conductor; der Draht und die Kugel werden daher positiv elektrisch. Die positive Elektricität der oberen Kugel zieht die negative der unteren an und vereinigt sich mit ihr durch Funken.

Fig. 225.



Elektrische Lichterscheinungen.

Versuch r. Der Aaronsstab oder Schlangenstab. Eine ungefähr 30 Cm. lange, 1 bis 2 Cm. weite Glasröhre wird sorgfältig gereinigt, auf dem Ofen erwärmt, und ihre beiden Oeffnungen durch Korke verschlossen, deren hervorragendes Ende man mit einer Feile halbkugelförmig abgerundet hat. Die Korke und die Enden der Röhre beklebt man mit Stanniol. Sodann schneidet man aus Stanniol Quadrate, deren Seite 4 oder 5 Mm. lang ist. Diese Stanniolstückchen klebt man, nahe dem einen Ende der Röhre anfangend, bis zu dem andern so auf die Röhre, daß jedes Stanniolstückchen dem nächsten eine Ecke zuwendet und von dem folgenden durch einen 0,5 bis 1 Mm. breiten Zwischenraum getrennt ist, alle Stückchen aber eine weite Schlangenlinie bilden, welche sich einige Mal um die Röhre herumwindet. Das eine Ende des so angefertigten Schlangen- oder Aaronstabes hält man in der linken Hand, zu dem andern Ende des Stabes läßt man aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine Funken überspringen. Auf dem Wege vom Conductor bis zur Hand sind in der Leitung viele kleine Unterbrechungsstellen vorhanden; an jeder derselben erscheint ein kleiner Funke, und man nimmt eine Funkenreihe in Form einer Schlangenlinie wahr, welche besonders im Dunklen eine hübsche Erscheinung gewährt.

Man kann auf einen seidenen Faden Metallperlen ziehen und jede von der folgenden durch einen Knoten trennen. Man erhält eine Funkenreihe, wenn man die oberste Perle mit der Hand hält und die unterste dem Conductor nähert.

Versuch s. Das Spitzenlicht im Dunkeln (§. 185). Die positive Lichterscheinung erhält man, indem man eine Nadel an den Conductor befestigt oder auf das Isolirgestell legt; die negative zeigt sich, wenn man die Nadel mit der Hand in der Nähe des Conductors hält.

Elektrische Wärmeerscheinungen.

Versuch t. Die elektrische Pistole (§. 189) wird abgefeuert dadurch, daß man zu dem Metallknopfe ihres Drahtes einen Funken aus dem Conductor überspringen läßt.

Versuch u. In eine flache Schale gieße man etwas Schwefeläther oder erwärmten Spiritus und halte die Schale so unter dem Conductor, daß die Funken die Flüssigkeit treffen und entzünden. Bei schwachen Maschinen ist das Gelingen dieses Versuches unsicher.

Hierauf kann man die **Versuche mit der Verstärkungsflasche** zeigen, das Laden derselben, indem ihr Knopf an den Conductor gehalten wird, die verschiedenen Weisen, sie zu entladen (§. 179—182), die Lichtenberg'schen Figuren (§. 186), das Durchbohren von Papier (§. 187), die Entzündung von Pulver (§. 189 b.)

Versuche mit Anwendung des Isolirschemels.

Ueberraschend fallen die Versuche mit der Elektrisirmaschine aus, wenn man einen isolirten Menschen elektrisirt. Derselbe steht auf dem

Isolirschemel, einem Brette, das von vier starken Glassäulen oder von vier Champagnerflaschen getragen wird, und hält in der Hand einen Draht, mit dem er den Conductor berührt. Da er einen isolirten Leiter bildet, so lassen sich mit dem elektrisirten Menschen dieselben Versuche anstellen, wie mit dem Conductor selber; seine Hand zieht leichte Körper an; seine Haare sträuben sich, einander abstoßend, vornehmlich wenn eine zweite Person die Hand darüber hält, und es lassen sich aus dem Isolirten Funken ziehen.

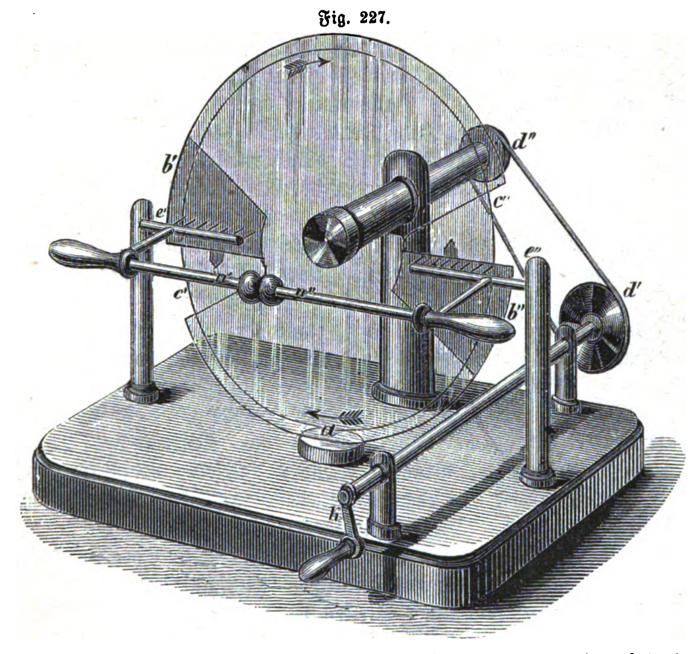
Fig. 226.



Die Influenz-Elektrisirmaschine.

Eine Elektrisirmaschine von neuer Einrichtung, die *Influenz-Elektrisirmaschine*, ist 1865 von *Holtz* zu Berlin erfunden worden. Dieselbe besteht aus zwei kreisförmigen, lackirten Glasscheiben von geringer Dicke und aus zwei Conductoren. Die eine *Glasscheibe* (in der Zeichnung die hintere) ist etwas größer, als die andere, und wird in lothrechter Stellung *festgehalten* durch einen Einschnitt, welcher in einer auf das Grundbrett befestigten Platte a aus Horngummi angebracht ist. Aus der festen Scheibe ist das Glas an zwei Stellen ausgeschnitten, links

Fig. 227.



bei e′ unter dem wagerechten Durchmesser der Scheibe und rechts bei e″ über demselben. Unmittelbar über dem links befindlichen Ausschnitt und unter dem rechts befindlichen hat die feste Scheibe zwei Papierbelegungen b′ und b″, von denen aus Papierspitzen in die Ausschnitte hineinragen. Aus der Mitte der festen Scheibe ist ein Kreis ausgeschnitten, so groß, daß die hindurchgeführte Drehungsaxe der anderen Scheibe die feste Scheibe nirgends berührt. Die zweite Glasscheibe, welche einen Durchmesser von 30 bis 50 Cm. hat, (in der Zeichnung die vordere) ist, parallel mit der festen Scheibe und in sehr geringem Abstand von ihr, an eine isolirende Umdrehungsaxe befestigt und läßt sich mit Hülfe von zwei Schnurrädern d′ und d″, einer Schnur ohne Ende und einer Kurbel k schnell umdrehen. Vor der vorderen Scheibe, gegenüber den beiden Papierbelegungen, stehen die beiden Conductoren e′ und e″, getragen von Säulen aus Horngummi; jede Säule trägt einen Metallcylinder, welcher nach der Glasscheibe zu mit Metallspitzen versehen ist; an den Metallcylinder ist ein metallener, wagerechter Querarm befestigt, der in eine Hülse ausläuft; in jeder Hülse läßt sich mittels eines isolirenden Griffes ein Messingcylinder verschieben, der in eine Kugel endigt. Die beiden Conductorkugeln n′ und n″ lassen sich daher mit einander in Berührung bringen und von einander entfernen.

Um diese Elektrisirmaschine in Thätigkeit zu setzen, bringt man die beiden Conductorkugeln mit einander in Berührung, hält eine durch Reiben elektrisch gemachte Platte aus Horngummi an die eine Papierbelegung und setzt mittels der Kurbel die bewegliche Glasscheibe in der Richtung des Pfeils nach rechts in Umdrehung. Nach mehreren Drehungen nimmt man die Gummiplatte weg und entfernt die Conductorkugeln von einander. Man sieht dann zwischen denselben, so lange die eine Scheibe gedreht wird, schnell nach einander lebhafte Funken überspringen.

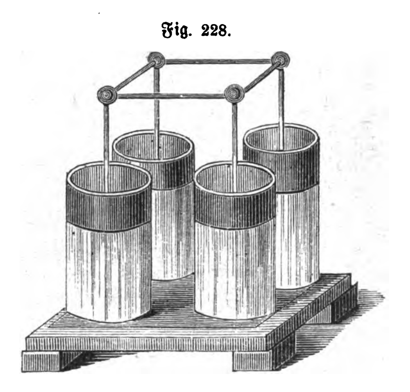
Dabei finden folgende Vorgänge statt. Ist der links befindlichen, ersten Papierbelegung b′ durch Berührung mit einer geriebenen Gummiplatte negative Elektricität mitgetheilt, so wirkt dieselbe durch die drehbare Scheibe hindurch vertheilend auf den ersten Conductor e′, stößt dessen negative Elektricität ab und zieht seine positive Elektricität an. Die negative Elektricität begiebt sich in die Kugel n′ des Conductors. Die positive Elektricität aber strömt aus den Spitzen des Conductors und geht auf die drehbare Glasscheibe über; dieselbe dreht sich von dem Conductor e′ nach oben; die obere Hälfte der drehbaren Scheibe ist daher immer positiv elektrisch. Diese positive Elektricität wird durch die feste Scheibe gebunden gehalten, wird aber frei an den Stellen der sich drehenden Scheibe, welche vor den rechts befindlichen Ausschnitt der festen Scheibe gelangen. Hier strömt von allen Stellen der oberen Scheibenhälfte, welche durch die Drehung vor dem Ausschnitt vorübergeführt werden, positive Elektricität durch die Papierspitze in die rechts befindliche, zweite Papierbelegung b″. Die zweite Papierbelegung wird daher positiv elektrisch. Die positive Elektricität der zweiten Belegung wirkt vertheilend auf den zweiten Conductor e″ und stößt seine positive Elektri-

cität so weit, als möglich, fort bis in die Conductorkugel n″. Die von der Belegung angezogene negative Elektricität des Conductors strömt aus seinen Metallspitzen auf die bewegliche Scheibe über und macht, da dieselbe sich von dem zweiten Conductor aus nach unten dreht, die untere Hälfte der sich drehenden Scheibe beständig negativ elektrisch. Diese negative Elektricität wird durch die nahe feste Scheibe gebunden gehalten, wird aber frei an allen Stellen der sich drehenden Scheibe, welche vor den links befindlichen Ausschnitt gelangen, und strömt hier in die erste Papierbelegung, so daß dieselbe immer negativ elektrisch erhalten wird. Jede Papierbelegung ruft also durch Influenz die mit ihr gleichartige Elektricität in der Kugel ihres Conductors hervor, und die entgegengesetzte Elektricität wird durch Umdrehung der beweglichen Scheibe zu der anderen Papierbelegung übergeführt. Sowohl in den beiden Papierbelegungen, als auch in den Kugeln ihrer Conductoren werden, so lange die Maschine in Thätigkeit ist, die entgegengesetzten Elektricitäten hervorgerufen und vereinigen sich, wenn die Conductorkugeln nicht zu weit von einander entfernt werden, durch die zwischen ihnen überspringenden Funken. Ist zwischen den Conductorkugeln ein Leiter eingeschaltet, so wird derselbe ununterbrochen von beiden Elektricitäten durchströmt.

§. 192. Die elektrische Batterie und ihre Wirkungen.

Durch die Elektrisirmaschine ist man im Stande, eine elektrische **Batterie** zu laden und die allerkräftigsten Wirkungen der Elektricität hervorzubringen. Die elektrische Batterie ist eine **sehr hohe und weite Verstärkungsflasche**. Denselben Namen und dieselben Wirkungen hat auch eine **Zusammenstellung** von vier oder noch mehr **Verstärkungsflaschen**, die auf einem metallenen Boden stehen, während die Knöpfe ihrer inneren Belegungen durch dicke Metalldrähte mit einander verbunden sind, so daß sie die Stelle einer einzigen Flasche vertreten. **Geladen** wird die Batterie, indem man zu ihrem Knopf aus dem Conductor der Maschine Funken überspringen läßt; sie wird **entladen**, wie eine gewöhnliche Verstärkungsflasche, indem man durch einen Auslader oder solche Körper, durch welche die Elektricität strömen soll, die äußere Belegung mit der inneren verbindet.

Fig. 228.

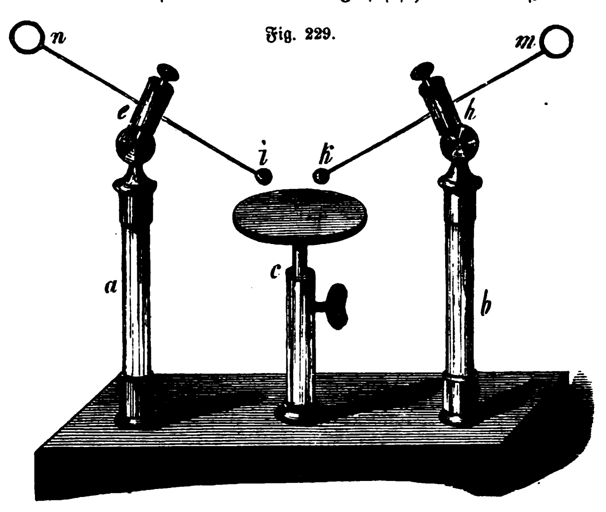


Der Entladungsschlag einer großen Batterie wird von einem starken **Knall** und einem hellen Licht begleitet und ist von beträchtlicher Stärke. Er **durchbohrt** ein ganzes Spiel Karten, **zersplittert** Holzplatten, sprengt Glastafeln und mit Wasser gefüllte Glasröhren. Durch die

Wärme eines Batteriefunkens wird Eisendraht glühend und in geschmolzenen Kügelchen umher geschleudert, dünne Metallstreifen werden verbrannt, Gold in Glas eingeschmolzen; Spiritus und mit gepulvertem Colophonium bestreute Baumwolle wird entzündet, und Pulver explodirt, wenn durch einen zwischen demselben und der inneren Belegung angebrachten feuchten Bindfaden der Schlag hindurchgeht und deshalb, weil der Bindfaden schlechter leitet, als Metall, etwas länger auf das Pulver seine erwärmende Kraft äußern kann. Die physiologischen Wirkungen der Batterie sind verderblicher Natur; kleine Thiere, wie Vögel und Katzen, werden sogleich getödtet; bei Menschen, die sich unvorsichtiger Weise dem Entladungsschlage aussetzten, hat er Blutspeien oder Lähmungen zur Folge gehabt.

Bei Versuchen mit der elektrischen Batterie pflegt man den allgemeinen Henley'schen Auslader zu Hülfe zu nehmen. Auf einem Grundbrette sind zwei lothrechte Glassäulen oder Glasröhren a und b aufgestellt; dieselben tragen oben jede eine messingene Fassung und eine Klemmschraube e und h, die sich um eine wagerechte Axe drehen läßt. Durch jede Klemmschraube ist ein starker Draht in und km geschoben, der sich verschieben und in einer bestimmten Stellung festschrauben läßt. Der Schlag

Fig. 229.



der Batterie soll seinen Weg durch die beiden Zuleitungsdrähte ni und km nehmen; zwischen ihren benachbarten Enden i und k, die mit Kugeln versehen sein können, müssen die Körper aufgestellt werden, die man dem Schlage der Batterie aussetzen will. Dazu dient ein hölzernes Tischchen c, das man hoch oder niedrig stellen kann. Die äußere Belegung der Batterie wird durch einen starken Draht mit dem äußeren Ende n des einen Zuleitungsdrahtes verbunden; an das äußere Ende m des anderen Zuleitungsdrahtes befestigt man einen Draht und diesen an eine Kugel mit gläsernem Handgriff; diese Kugel wird rasch einem Knopf der Batterie genähert.

Dann nimmt die Elektricität der inneren Belegung ihren Weg von der isolirt mit der Hand gehaltenen Kugel durch den Draht nach mk, durch den auf dem Tischchen c befindlichen Körper nach in, dem daran befestigten Drahte und der äußern Belegung der Batterie.

Die atmosphärische Elektricität.

§. 193. Entdeckung der atmosphärischen Elektricität.

Die durch Reiben erregte Elektricität zeigt in kleinerem Maßstabe dieselben Wirkungen, die ein Gewitter hervorbringt. Die Funken einer großen Elektrisirmaschine nehmen gleich dem Blitze einen zickzackförmigen Weg und springen zu dem nächsten Leiter über; die Funken einer Batterie entzünden, wie der Blitz, viele brennbare Stoffe und tödten lebende Wesen. Es lag daher die Vermuthung nahe, daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung sei. Um diese Vermuthung zu beweisen, ließ der Nordamerikaner Franklin 1752 in der Nähe von Philadelphia, als ein Gewitter drohte, einen Drachen steigen, jenes bekannte Spielwerk der Knaben, an den ein zugespitzter Metalldraht befestigt war. Unten an die leinene Schnur des Drachen war ein Schlüssel gebunden, so daß die Elektricität der Wolken von dem Metalldraht aufgenommen wurde und über die Schnur zu dem Schlüssel hinabströmen konnte. Obwohl mehrere Gewitterwolken vorüberzogen, zeigte sich eine Zeit lang keine elektrische Erscheinung. Da beobachtete Franklin, als eine Gewitterwolke sich noch mehr genähert hatte, daß einige lose Fasern der Schnur, einander abstoßend, sich aufrichteten und emporsträubten. Hierdurch ermuntert, näherte er einen Finger dem Schlüssel und erhielt elektrische Funken, die noch stärker wurden, als herabfallende Regentropfen die Schnur angefeuchtet und zu einem besseren Leiter gemacht hatten. Bald darauf stellte Franklin auf seinem Wohnhause zu Philadelphia eine lothrechte Eisenstange isolirt auf und beobachtete an derselben, so oft ein Gewitter heraufzog, elektrische Erscheinungen, wodurch seine Vermuthung bestätigt wurde.

Im August des nächsten Jahres, 1753, fand ein deutscher Naturforscher, Richmann zu Petersburg, bei Beobachtung der Luftelektricität seinen Tod. An eine Eisenstange, die in lothrechter Stellung isolirt durch das Dach seines Hauses geführt war, hatte er unten ein Elektrometer befestigt und wollte dasselbe, als ein Gewitter sich bildete, gemeinsam mit dem Maler Sokolow beobachten. Eben näherte er sich dem Elektrometer und erklärte, daß, aus der geringen Abstoßung des Elektrometers zu schließen, das Gewitter noch weit entfernt sein müsse, als ein weißlichblauer Feuerball aus der Metallstange auf Richmann's Stirn übersprang und ihn zu Boden warf. Auch der Maler stürzte nieder, kam aber sogleich wieder zum Bewußtsein. Dagegen blieben alle Mittel,

die man anwandte, um Richmann wieder ins Leben zu rufen, ohne Erfolg.

Der Franzose De Romas wiederholte 1753 zu Nerac im südlichen Frankreich Franklin's Versuch mit dem Drachen mehrere Male; damit aber die Schnur besser leitete, durchflocht er sie mit dünnem Metalldraht und hielt sie, damit er selbst von ihr isolirt und der Gefahr nicht ausgesetzt sei, an einer seidenen Schnur. Beim Herannahen eines Gewitters fuhren Feuerstreifen von 3 M. Länge aus der unten an die leitende Schnur gebundenen Blechröhre, von einem Knall begleitet, der einem Pistolenschuß gleichkam, und am Boden liegende Strohhalme wurden in der Entfernung von 1 M. angezogen. Schon ehe es zu regnen anfing, hatte er das Gefühl, als ob er mit dem Gesicht in Spinngewebe gerathen sei, obwohl er 1 M. von der Blechröhre entfernt stand. Die Schnur leuchtete ihrer ganzen Länge nach, der Ozongeruch verbreitete sich weit umher.

Um die Elektricität der höheren Luftschichten und vorüberziehenden Wolken zu beobachten, ließ in neuerer Zeit Crosse 15 M. hohe Mastbäume aufrichten und durch eiserne Ringe an starke Bäume befestigen. Sie trugen isolirt einen horizontal ausgespannten, 600 M. langen Kupferdraht, dessen eines Ende, ringsherum von Nichtleitern umgeben, ins Zimmer hinabführte. Mittels dieser Drahtleitung, welche die Elektricität der Atmosphäre aufnahm, ließen sich dünne Eisenstäbe schmelzen, und elektrische Batterien in einem Augenblicke vollständig laden. Von einer ähnlichen Drahtleitung aus ließ Weekes von der atmosphärischen Elektricität Kartenblätter durchbohren und Glas sprengen, überhaupt dieselben Wirkungen hervorbringen, die man durch elektrische Batterien hervorrufen kann. Bei diesen Versuchen hat sich die Elektricität der Gewitterwolken bald als positiv, bald als negativ gezeigt.

Versuch. Will man das Vorhandensein atmosphärischer Elektricität an einem Elektrometer nachweisen, so muß dasselbe möglichst empfindlich, und sein Glas gut isolirend sein. Man befestigt oben an den Draht des Elektrometers lothrecht einen 1 M. langen, 1 Mm. dicken Messingdraht, der oben in eine scharfe Spitze ausgeht; dann faßt man im Freien das Elektrometer unten mit einer Hand an, hält es zuerst recht niedrig und bewegt es plötzlich so hoch, als man den Arm emporheben kann. Gehen die Goldblättchen dabei nicht auseinander, so befestigt man oben an den Draht ein Stückchen Schwamm und zündet dies an. Bei ruhiger Luft bildet die Rauchsäule einen guten Leiter; ist sie hoch genug aufgestiegen, so tritt ein Ausschlag der Goldblättchen ein.

§. 194. Entstehung der atmosphärischen Elektricität.

Durch welche Vorgänge die Elektricität der Luft erregt wird, ist unbekannt. Während man früher die Verdunstung des Wassers in Flüssen und Meeren als Ursache der Luftelektricität ansah, haben Versuche gelehrt, daß der aus salzigem Wasser aufsteigende Dampf dann elektrisch wird, wenn die Flüssigkeit in einem Metallgefäße kocht und sich

an dessen Wänden reibt*); aber der aufsteigende Dampf zeigt keine Elektricität, wenn das Wasser, wie es im Großen stets geschieht, bei geringer Wärme verdunstet. Andere vermuthen, daß durch den Pflanzenwuchs, oder durch Reibung sich bewegender Luftmassen an einander, oder durch die Wolkenbildung Elektricität erregt wird.

Da keine von diesen Meinungen sich durch Versuche beweisen ließ, ist man zu der Annahme von der Erdelektricität gelangt. Die Erde besitzt, wie man vermuthet, negative Elektricität, welche sich in hohen Gegenständen anhäuft und auf den Dächern, Kirchthürmen, Bergspitzen am stärksten ist. Der Wasserdampf in der Atmosphäre kann mit der Erde in Berührung stehen, und dann zeigt sich die Erdelektricität in den obersten Schichten der Dampfmasse. Isolirt schwebende Wolken erfahren die vertheilende Wirkung der Erdelektricität und können auf andere Wolken vertheilend einwirken. Die stärksten Wirkungen bringt die Luftelektricität beim Gewitter hervor.

§. 195. Entstehung des Gewitters.

Einem Gewitter pflegt im Sommer bei heiterem Himmel große Wärme voranzugehen und bei der eintretenden Windstille für unser Gefühl drückend zu werden; wir bezeichnen diese drückende Hitze bei unbewegter, feuchter Luft mit dem Namen „Schwüle". An irgend einer Stelle der Atmosphäre bildet sich dann eine niedere, dichte Wolke, die schnell an ihrem oberen Rande zunimmt und in gewölbter Form sich ausbreitet. Bald darauf verdichten sich auch in benachbarten Gegenden der Luft die in ihr befindlichen Wasserdämpfe, und in Kurzem ist der vorher völlig heitere Himmel mit einer Anzahl kleiner, vielfach zerrissener Wolken bedeckt, die sich bald gegenseitig nähern, bald einander fliehen. Ihre Bewegung wird lebhafter, sie schleudern einander elektrische Lichtstrahlen zu und vereinigen sich zu einer großen, düstern Gewitterwolke. Ein heftiger Sturmwind bricht los und treibt Staub und Blätter in Wirbeln empor; es ist der letzte Vorbote des Gewitters.

Da ohne eine schnelle Wolkenbildung kein Gewitter stattfindet, ist eine schnelle Wolkenbildung oder eine schnelle Verdichtung der Wasserdämpfe die nächste Ursache des Gewitters. Bei warmem

*) An einer Dampfmaschine in der Nähe von Newcastle war der Dampfkessel schadhaft geworden, und Dampf strömte aus einer Spalte aus; der Maschinenwärter hatte die eine Hand an das Sicherheitsventil (§. 385) gelegt und erhielt einen elektrischen Schlag, als er die andere Hand in den ausgeströmten Dampf hielt. Hiervon benachrichtigt, erfand der Engländer Armstrong 1840 die Hydroelektrisirmaschine oder Dampfelektrisirmaschine. Sie wird gebildet durch einen von Glassäulen getragenen Dampfkessel, in dessen Innerem die Feuerung angebracht ist; der entwickelte Wasserdampf strömt aus mehreren neben einander befindlichen Röhren, reibt sich an den inneren Wänden derselben und wird positiv elektrisch, während der Dampfkessel negative Elektricität zeigt. Um die Elektricität des Dampfes abzuleiten, stellt man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen, die mit der Erde leitend verbunden sind.

Wetter bildet sich eine große Menge unsichtbarer Wasserdämpfe; ist es windstill, so werden die Dämpfe nicht nach andern Orten hinweggetrieben. Erfolgt bei warmem Wetter, also im Sommer, eine Abkühlung der in großer Menge vorhandenen Dämpfe, so werden viel mehr Dämpfe zu Wolken verdichtet, als im Winter. Die Abkühlung des unsichtbaren Wasserdampfs geschieht entweder, weil neben der über dem erwärmten Erdboden emporsteigenden Luft- und Dampfmenge kältere Luftmassen herabsinken, oder ein kälterer Wind plötzlich die warmen Dampfmassen trifft. Die schnelle Bewegung der Wolken und der Sturm nahe der Erdoberfläche sind Folgen des hereingebrochenen kälteren Windes. In Folge der Abkühlung werden sehr viele elektrische Wasserdämpfe zu Nebelbläschen und einer dichten Wolke vereinigt; sie nehmen einen weit kleineren Raum ein, in diesem ist ihre Elektricität vereinigt und angehäuft. Daher die starke Elektricität der Gewitterwolken.

§. 196. Der Blitz und seine Wirkungen.

Der Blitz ist ein großer elektrischer Funke und erscheint, in der Nähe gesehen, als ein blendender Feuerball. Wie dem Auge, wenn wir im Dunkeln eine glühende Kohle (§. 323) schnell bewegen, ihr ganzer Weg sich leuchtend darstellt, so erleuchtet auch der Blitz bei seiner außerordentlichen Geschwindigkeit den ganzen von ihm durchlaufenen Weg. Seine leuchtende Bahn ist eine Zickzacklinie. Indem er nämlich die Luft vor sich hertreibt, verdichtet er dieselbe; sie wird dadurch ein schlechterer Leiter und leistet seiner Bewegung einen Widerstand, der ihn nöthigt, von der geraden Linie seitwärts abzuspringen und seinen Weg durch eine nicht verdichtete Luftmasse zu nehmen; auch diese verläßt er, sobald sie zu sehr zusammengepreßt ist.

Die meisten Blitze springen von einer Wolke zu einer andern über. Bei Weitem geringer ist die Zahl der Blitze, welche einschlagen, das heißt, ihren Weg nach der Erdoberfläche nehmen. Sobald eine positiv elektrische Wolke sich nach der Erdoberfläche zu gesenkt hat, strömt die entgegengesetzte Elektricität nach dem Gesetz der Vertheilung in die Gegenstände, die der Wolke am nächsten sind. Beide Elektricitäten streben sich zu vereinigen; es erscheint der gewaltige Funke des einschlagenden Blitzes, indem die Elektricität der Wolke den Zwischenraum der Luft durchbricht. Als Ziel sucht der Blitz das feuchte Erdreich oder das Wasser zu erreichen. Um zu diesem Endpunkt seiner Bahn zu gelangen, folgt er den besten Leitern der Elektricität, Wetterfahnen, Dachrinnen, Ofenröhren; selten springt er dabei von den festen Körpern ab und schlägt nur dann wieder den Weg durch die Luft ein, wenn er durch einen kleineren Zwischenraum zu einem besseren Leiter gelangen kann.

Die mechanischen Wirkungen des einschlagenden Blitzes auf schlechte Leiter sind sehr heftig. Die Möbel eines Zimmers werden umgestürzt und zertrümmert, die Thüren aus den Angeln gerissen und weggeschleudert, die Thürpfosten gespalten; Wagen werden durchbohrt, die

Masten der Schiffe und Bäume zersplittert. In einer Kirche zu Breslau war an dem Orgelchor eine große hölzerne Figur angebracht; am 6. Juni 1874 schlug der Blitz in die Kirche ein, riß die Figur los und zersplitterte sie mit Ausnahme des Kopfes und des linken Armes in zahllose kleine Stücke. In einem Hause unweit Manchester verschob im August 1809 der Blitz eine dicke, 4 M. hohe Mauer so, daß ihr eines Ende 1, das andere fast 3 M. von seiner früheren Stelle entfernt wurde; die Mauer bestand aus 7000 Steinen, und ihr Gewicht betrug viele Centner. Durch die den Blitzfunken begleitende Wärme werden Strohdächer, trockenes Holz und Kleidungsstücke verkohlt oder entzündet, und dünne Metallstücke geschmolzen; so sind an mehreren Orten die vergoldeten Zeiger der Thurmuhren getroffen, das Gold geschmolzen, und das Blei der darunter befindlichen Fenster oder Dächer damit überzogen worden. Sogar wenn der Blitz Sandschichten durchbricht, um zu dem darunter befindlichen feuchten Erdreich zu gelangen, schmelzt er die Sandkörner und bezeichnet seinen Weg durch schwärzliche oder graue, inwendig verglasete, etwa 2 Cm. weite Röhren, die sogenannten Blitzröhren, wie man sie beim Nachgraben an sandigen Stellen gefunden hat, wo man den Blitz hatte einschlagen sehen. Lebende Wesen, die der Blitz trifft, werden entweder getödtet, oder nur verletzt. In dem ersten Falle tritt der Tod augenblicklich ein, wahrscheinlich, weil durch den Blitz der Thätigkeit der Nerven ein Ende gemacht wird. Unweit des Dorfes Dechtow bei der preußischen Stadt Fehrbellin tödtete am 13. Mai 1803 ein furchtbarer Blitzstrahl einen Schäfer, seinen Hund und 40 Schafe; die Kleider des Schäfers waren fast ganz zerrissen, sein Stab und seine Pfeife zertrümmert und fortgeschleudert; die Thiere lagen um ihren getödteten Hirten, die größeren waren äußerlich unbeschädigt, während den Lämmern die Wolle abgerissen war. Die Verletzungen sind meistentheils äußerlich und nicht selten von einer Betäubung begleitet. Im Juni des Jahres 1788 wurde nahe bei Mannheim ein Soldat von einem Gewitterregen überrascht und stellte sich unter einen Baum, unter welchem bereits eine Frau stand. Er blickte in die Höhe, um zu sehen, ob die Zweige dicht genug wären, ihn vor dem Regen zu schützen; da ward er durch einen Blitz bewußtlos zu Boden geworfen, während die Frau nur an einem Fuße leicht verletzt ward. Erst nach mehreren Stunden erwachte der Soldat aus seiner Betäubung; ein Theil der Haare war hinweggebrannt; an dem Hals war eine Wunde, an beiden Armen rothe Streifen, und an beiden Händen schmerzhafte Verletzungen. Der Getroffene klagte über Lähmung der Hände, schweres Athemholen und Schwerhörigkeit; doch reichten elf Tage aus, um ihn von diesen Beschwerden zu heilen.

Das Wetterleuchten ist entweder der Widerschein von Blitzen, die unter dem Horizonte stattfinden, oder der Blitz eines so fernen Gewitters, daß man den Donner zu hören außer Stande ist, oder endlich die geräuschlose Ausstrahlung einer stark elektrischen Wolke, vergleichbar dem elektrischen Spitzenlicht (§. 185). Sehr häufig ist es der Widerschein sehr entfernter Blitze. So bemerkte man in der Nacht vom

10. zum 11. Juli 1783 auf der Grimsel in der Richtung gegen Genf Wetterleuchten in den Wolken am Horizont, und zu derselben Stunde wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht. Am Abend des 31. Juli 1813 wurde in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Wetterleuchten gegen Südost hin beobachtet, und man erfuhr nachher, daß zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, in einer Entfernung von 25 Meilen, stattgefunden hatte.

§. 197. Der Donner.

Wenn wir eine Gerte oder einen Stab schnell durch die Luft bewegen, so wird dadurch eine Luftmasse erschüttert, in schwingende Bewegung versetzt, und ein hörbarer Schall hervorgebracht (§. 272). Daher wird jeder elektrische Funke, weil er die Luft durchbricht und erschüttert, von einem Knistern oder, wenn er stärker ist, von einem Knall begleitet. So entsteht auch der Donner durch Schwingungen der vom Blitz durchbrochenen und erschütterten Luftmassen.

Blitz und Donner erfolgen genau zu derselben Zeit. Weil jedoch der Schall weit mehr Zeit gebraucht, um von dem Orte seines Entstehens zu uns zu kommen, und (§. 276) in einer Sekunde nur 333 M. zurücklegt, gelangen die schallenden Schwingungen der Luft, die uns vom Donner Kunde bringen, später in unser Ohr, als das Auge die Lichterscheinung des Blitzes beobachtet. Hat man den Donner 10 Sekunden später vernommen, als man den Blitz, durch den er entstanden ist, wahrnahm, so haben die schallenden Schwingungen diese Zeit dazu gebraucht, den Weg von dem Orte ihres Entstehens bis zu uns zu durchlaufen. Da nun der Schall in einer Sekunde 333 M., in 10 Sekunden also 3330 M. zurücklegt, so sind Blitz und Donner an einem Orte erfolgt, der 3330 M. von uns entfernt ist. So groß ist in diesem Falle die Entfernung des Gewitters. Da bei dieser nicht sehr genauen Bestimmung die Zwischenzeit zwischen Blitz und Donner in Sekunden anzugeben, und für jede Sekunde eine Entfernung von 333 M. zu rechnen ist, pflegt man wohl die Zahl der Sekunden nach den Pulsschlägen abzuzählen und auf 4 Pulsschläge 3 Sekunden zu rechnen. Die längste Zwischenzeit zwischen Blitz und Donner beträgt nicht viel über eine Minute.

Wenn eine Gewitterwolke dem Erdboden sehr nahe gekommen ist, und der Blitz nun einschlägt, so wird der Donner in der Nähe als ein einfacher Donnerschlag ohne nachfolgendes Rollen gehört; alle Luftschwingungen treffen dann das Ohr in demselben Augenblicke. Wenn dagegen der Blitz von einer Wolke zu einer andern überspringt und dabei einen langen, weiten Weg durchläuft, so hören wir den Donner rollen. Aus der ganzen Bahn des Blitzes gelangt der Schall von der dem Beobachter nächsten Stelle zuerst zu ihm, erst nach und nach von den entfernteren Stellen; man vernimmt daher eine Reihe von Donnerschlägen, die ununterbrochen auf einander folgen und in Gebirgsgegenden noch durch das Echo verstärkt werden.

§. 198. Vorsichtsmaßregeln bei einem Gewitter.

Da der Blitz stets den besten Leitern der Elektricität folgt, thut man wohl daran, während eines Gewitters sich von gut leitenden Gegenständen fern zu halten und namentlich sich nicht in die Nähe größerer Metallmassen zu stellen. Darum sind metallene Kronleuchter, Drahtzüge, eiserne Oefen, große Spiegel, deren Belegung aus Metall besteht, Dachrinnen zu meiden; auch der Ruß und Rauch in dem Schornstein gehört zu den besseren Leitern, weshalb es räthlich ist, während eines Gewitters das Feuer auf dem Heerde ausgehen zu lassen, damit nicht die aufsteigende Rauchsäule dem Blitze einen leitenden Weg darbiete. Jedenfalls ist der sicherste Platz die Mitte eines geräumigen Zimmers, und es ist kein Grund vorhanden, die Fenster desselben ängstlich geschlossen zu halten.

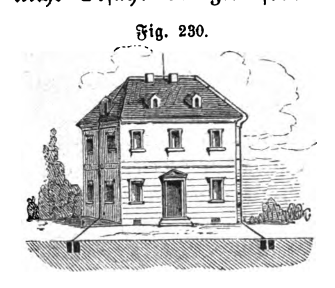
Im Freien ist es unbesonnen, sich unter einen einzeln stehenden oder über andere hervorragenden Baum zu stellen, sich unter Getreidehaufen zu verbergen oder in der Nähe eines Gewässers aufzuhalten. Fast jedes Jahr liefert warnende Beispiele; am 2. Juni 1874 wurde ein heimkehrender Maurer unweit des Gothaischen Dorfes Remstedt von einem Gewitter überrascht, stellte sich, um gegen den Regen geschützt zu sein, unter einen am Wege stehenden Baum und wurde vom Blitz erschlagen. Allein auch ganz freie und baumlose Flächen sind zu meiden, weil der Mensch hier, als der höchste Gegenstand, der Gewitterwolke am nächsten ist. Besser ist es, in der Nähe eines hohen Baumes, doch wenigstens 6 M. von seinen längsten Zweigen entfernt, zu verweilen, damit der Blitz, wenn er etwa an dieser Stelle einschlüge, als höchsten Gegenstand den Baum treffe, und der Mensch zu weit entfernt sei, als daß der Blitz zu ihm überspringen könnte.

§. 199. Der Blitzableiter.

Der Blitzableiter ist 1752 von Franklin erfunden worden und hat zuerst in dessen Heimat, in Nordamerika, wo die Gewitter sehr häufig sind, Verbreitung gefunden. Die Vorrichtung besteht aus zwei Stücken, aus der Auffangestange und der Ableitungsstange. Die Auffangestange ist eine 6 bis 9 M. lange Eisenstange, die lothrecht auf den Dachstuhl des Hauses befestigt wird; sie ist unten sehr stark, läuft nach oben spitz zu und endet hier in die Spitze eines Metalles, das nicht rostet und stets ein guter Leiter bleibt, von vergoldetem Kupfer, Silber oder Platin. An den unteren Theil der Auffangestange ist durch eine Schraube die Ableitungsstange befestigt; auch sie ist in der Regel von Eisen und hat 2 Cm. ins Gevierte; damit sie nicht roste, überstreicht man sie mit einer mit Kienruß gemischten, leitenden Oelfarbe. Statt der Eisenstangen wählt man zur Ableitung besser Kupferstreifen oder aus Kupferdraht geflochtene Seile. Die Ableitnng wird über das

Dach und an dem Gebäude abwärts geführt, erst in einiger Entfernung davon tief in den feuchten Erdboden geleitet und hier zum Schutz gegen den Rost mit ausgeglühten Holzkohlen umgeben. Von der Spitze der Auffangestange bis zum unteren Ende der Ableitungsstange darf die Leitung an keiner Stelle unterbrochen sein, und der Blitzableiter muß von Zeit zu Zeit untersucht werden, wenn er Sicherheit gewähren und nicht Gefahr bringen soll. Ueberhaupt muß ein Blitzableiter folgenden fünf Anforderungen genügen: 1. Die Auffangestange muß in eine feine Spitze auslaufen, weil der Blitz desto leichter einschlägt, je stumpfer die Spitze ist. 2. Von der Spitze bis zum unteren Ende der Ableitungsstange darf in der Leitung keine Unterbrechung vorkommen, weil sonst der Blitz auf benachbarte Gegenstände überspringt. 3. Aus demselben Grunde muß die Verbindung mit dem feuchten Erdboden vollkommen leitend sein. 4. Wegen der Gefahr des Schmelzens müssen alle Theile des Blitzableiters hinreichend stark gearbeitet sein. 5. Außerdem sind die größeren Metallmassen an der Außenseite des Hauses mit dem Ableiter durch Metallstangen zu verbinden; sonst springt der Blitz zu solchen Metallmassen über. Im Jahre 1872 traf der Blitz bei einem heftigen Gewitter den Blitzableiter der schönen Marienkirche zu Manchester, sprang dann zu der Gasröhrenleitung über, die nicht weit von ihm angebracht war, schmelzte das Blei an dem Haupthahn und zündete das weithin ausströmende Gas an. Die Flamme ergriff die Bänke der Kirche, die Bibeln und Gesangbücher und schlug bald hell auflodernd zu den Fenstern hinaus; das Dach stürzte zusammen, nur der Thurm blieb stehen. Wie die Erfahrung gelehrt hat, schützt ein Blitzableiter einen Kreis, dessen Durchmesser dreimal so groß ist, als die Länge der Auffangestange. Erhebt sich eine Auffangestange 6 M. über das Dach, so schützt der Ableiter einen Kreis, dessen Durchmesser 3×6 M. beträgt. Für größere Gebäude sind daher mehrere Auffangestangen nöthig, und zwar wenigstens so viel, so oft die dreifache Länge einer Auffangestange in der Länge des Gebäudes enthalten ist. Alle Auffangestangen werden unter einander durch eine eiserne Stange verbunden, und es werden halb so viel Ableitungsstangen angebracht, als Auffangestangen nöthig sind.

Fig. 230.

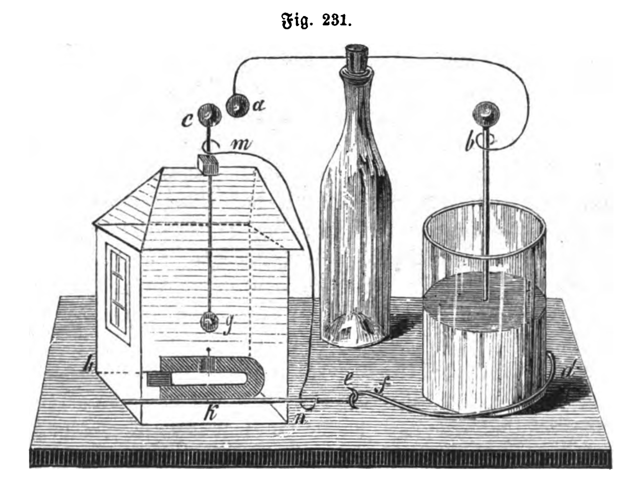


Die Wirksamkeit eines Blitzableiters ist eine doppelte. Schwebt über ihm eine elektrische Wolke, so strömt ihr aus der Spitze der Auffangestange von der Erde her die entgegengesetzte Elektricität in großer Menge und mit außerordentlicher Geschwindigkeit entgegen und macht dadurch einen Theil der atmosphärischen Elektricität unwirksam. Eine Kirche bei Charlestown in Südkarolina war alle 2 oder 3 Jahr vom Blitz getroffen worden; nachdem man sie aber mit einem spitzigen Blitzableiter versehen hatte, vergingen 14 Jahre, ohne daß dieser oder die

Kirche getroffen wären. Die mit Blech gedeckte Kirche auf dem Lusciariberg in Kärnthen war so oft vom Blitz getroffen worden, daß man es aufgab, sie im Sommer zu benutzen; 1780 brachte man an dem Thurm einen Ableiter mit 3 Spitzen an, und der Blitz schlug innerhalb der drei folgenden Jahre nur 2 Mal in den Ableiter ein, ohne Schaden anzurichten. Durch die Wirkung der Spitze verringert der Blitzableiter die elektrische Kraft der Gewitterwolke und vermindert so die Zahl der einschlagenden Blitze. Ist aber die aus der Spitze ausströmende Elektricität nicht im Stande, das Einschlagen des Blitzes aus der zu schnell sich nähernden Wolke zu hindern, dann tritt die zweite Wirkung des Ableiters ein. Der Blitz trifft nämlich keinen andern Theil des Gebäudes, als die Auffangestange, und durch die ununterbrochene metallische Leitung wird der einschlagende Blitz in den feuchten Erdboden geführt, ohne daß er dem Gebäude Schaden thut oder eine zerstörende Wirkung hervorbringt. Der Blitzableiter auf dem Thurm des Straßburger Münsters wurde 1843 innerhalb einer Minute von zwei Blitzschlägen getroffen, ohne daß der Thurm beschädigt ist.

Das Donnerhaus. Lehrreich für die Einrichtung des Blitzableiters ist eine unter dem Namen des Donnerhauses bekannte Vorrichtung. Aus Pappe wird ein Häuschen gefertigt, dessen eine Wand (in der Zeichnung

Fig. 231.



die zur Linken h) nur angelehnt ist. Den Schornstein bildet eine ins Innere des Hauses hineinreichende Röhre aus Pappe; in dieser läßt sich ein dicker lothrechter Draht cg mit starker Reibung auf- und niederziehen; derselbe ist da, wo er in dem Schornstein eingeklemmt ist, ringsum mit einer starken Lage von Siegellack umgeben; unten endet er in eine Kugel, oben in eine Spitze, auf die sich eine Metallkugel stecken läßt. Der Fußboden des Hauses ist in der Mitte des Hauses mit Stanniol

oder Silberpapier beklebt, und in leitende Verbindung damit ist ein Draht kne gebracht, der rechts in wagerechter Stellung aus dem Hause hervorragt und hier zu einem Haken umgebogen ist. Auf den Fußboden bei k legt man ein Blech und darauf eine kleine Menge der leicht entzündlichen Mischung (§. 189 b) von Schwefelantimon und chlorsaurem Kali und stellt den lothrechten Draht cg so, daß seine untere Kugel die Mischung berührt. Oder man legt an dieselbe Stelle die elektrische Pistole, so daß ihre Kugel dicht unter der Kugel g des lothrechten Drahtes befindlich ist. Die äußere Belegung einer kräftig geladenen Verstärkungsflasche ist durch einen sie umschließenden Draht fd mit dem Fußboden des Häuschens leitend verbunden. Außerdem führe man durch den Kork einer isolirenden Flasche einen Draht ab, und lasse ihn auf der einen Seite in eine Kugel, auf der anderen in einen Haken endigen, in den gut anliegend der Draht der Verstärkungsflasche geschoben wird. Dieser Draht mit seiner Kugel a stellt die Gewitterwolke vor.

Versuch a. Bringt man nach diesen Vorbereitungen durch Verschieben der isolirenden Flasche und der Verstärkungsflasche die Wolke a an die aus dem Hause oben hervorragende Kugel c, so schlägt es ein. Der Blitz folgt den besten Leitern cg, k, ne und entzündet dabei das Gas in der Pistole; der abspringende Kork bringt die Wand h zu Falle.

Versuch b. Zum Zweiten läßt sich zeigen, daß ein Blitzableiter das Haus schützt. Von der leicht entzündlichen Mischung sei etwas auf das Blech k gebracht, und die Verstärkungsflasche wieder geladen. Aber ein starker oder aus mehreren geflochtener Draht mn, der den Blitzableiter darstellt, sei eng anschließend an den Draht über dem Schornstein und mit dem anderen Ende an den wagerechten Draht bei n gehängt. Wird jetzt die Wolke a an die Kugel c gebracht, so hört man einen Knall, den Donner, ohne daß der Funke zündet.

Versuch c. Wird der Versuch mit der Abänderung wiederholt, daß man die Kugel c abnimmt, so daß hier der Wolke eine Spitze gegenübersteht und nähert man die Wolke a langsam der Spitze des Ableiters, so wird der Funke nicht zünden, und die Entladung kaum hörbar sein. Es ist daher besser, den Blitzableiter oben in eine Spitze endigen zu lassen.

Versuch d. Der Blitzableiter darf nicht zu dünn sein, weil er dann kein guter Leiter ist, und der Blitz sich einen anderen Weg sucht. An die Stelle des Ableiters mn werde ein sehr dünner Draht gebracht; er leitet zu schlecht, der Funke zündet.

Versuch e. Entfernt man das untere Ende der Ableitungsstange n vom Draht ke, so hat man einen Blitzableiter, der schadhaft, unterbrochen und gefährlich ist. Der Schlag wird dann bei unserer Vorrichtung sicher zünden.

Die galvanische Elektricität.

Erregung der galvanischen Elektricität.

§. 200. Entdeckung der galvanischen Elektricität.

Im Jahre 1790 hatte Aloysius Galvani, ein Arzt und Professor der Medicin zu Bologna, seiner Frau, die an einem lästigen Husten litt, den Genuß einer Froschbrühe verordnet. Einer seiner Gehülfen war in dem Wohnzimmer des Professors damit beschäftigt, die Frösche zuzubereiten, und Galvani selbst stellte nicht weit davon in Gegenwart mehrerer Freunde Versuche mit einer Elektrisirmaschine an. Da ward die aufmerksame Stille durch einen Ausruf des Staunens unterbrochen; die todten Frösche waren in die lebhaftesten Zuckungen gerathen und zeigten Spuren von neuem Leben. Die Anwesenden beriethen über die Ursache der seltsamen Erscheinung, und Galvani's Gemahlin beobachtete, daß die Zuckungen am heftigsten wurden, wenn aus der Elektrisirmaschine ein Funke gezogen ward. Darum urtheilte man, daß die Zuckungen der Froschschenkel eine Wirkung der Elektricität seien, wie ja auch die Entladung einer Verstärkungsflasche Zuckungen und Erschütterungen bewirke.

Es ist das Verdienst Galvani's, daß er die gemachte Beobachtung mit bewundernswerther Ausdauer weiter verfolgt hat. Zunächst wollte er ermitteln, ob die Elektricität der Luft ebenfalls im Stande sei, die beobachteten Zuckungen hervorzubringen. In dieser Absicht befestigte er in der Nähe der Nervenfäden oben an die Froschschenkel einen Kupferdraht, welcher die Elektricität der Luft auffangen sollte, und hängte sie an diesem einstweilen bis zu weiterer Verwendung an das eiserne Gitter der Terrasse in seinem Garten. Da traten sogleich die heftigsten Zuckungen ein, so oft die Muskeln der Frösche das eiserne Geländer berührten. Dennoch zeigte sich die Luft, als Galvani ihren elektrischen Zustand untersuchte, als durchaus unelektrisch, und in dem Kupferdraht hätte sich auch keine Elektricität ansammeln können, weil er durch das eiserne Gitter mit der Erde leitend verbunden war.

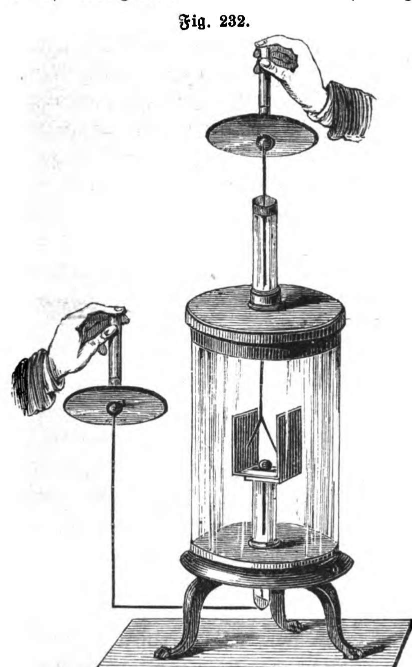
Galvani sah es deshalb für ausgemacht an, daß bei diesem Versuch von außen her keine Elektricität in die Frösche gelangte, und weil dessen-

ungeachtet die elektrische Erscheinung der Zuckungen erfolgte, so nahm er an, die Elektricität komme aus den Fröschen selbst und nehme von den Nerven aus ihren Weg über die leitenden Metalle zu den Muskeln der Thiere. Er beobachtete, indem er Nerven und Muskeln mit verschiedenen Metallen berührte und diese an einander brachte, auch bei anderen Thieren ähnliche Zuckungen und stellte die damals vielbewunderte Lehre auf, alle lebenden Geschöpfe seien, wie Verstärkungsflaschen, mit Elektricitäten geladen; das Gehirn sei die Quelle der positiven Elektricität, die sich von da aus über die Nerven verbreite, in den Muskeln dagegen habe die negative Elektricität ihren Sitz; würden durch den Willen des Geschöpfes Nerven und Muskeln leitend verbunden, so trete eine Bewegung der Glieder ein. Nach dieser Ansicht sollten alle unsere Bewegungen und unser ganzes Leben durch Elektricität bewirkt werden, und alle Menschen und Thiere nichts Anderes sein, als umherlaufende Verstärkungsflaschen.

§. 201. Erregung von Elektricität durch gegenseitige Berührung zweier Metalle.

Der Lehre Galvani's trat ein junger Naturforscher zu Pavia, der Graf Alexander von Volta, entgegen und machte darauf aufmerksam, daß im thierischen Körper Nerven und Muskeln stets leitend verbunden sind, und daß sich darum nicht in beiden entgegengesetzte Elektricitäten anhäufen können; vielmehr entstehe die Elektricität, durch welche jene Zuckungen hervorgebracht würden, durch die gegenseitige Berührung der beiden Metalle. Diese Wahrheit ward von Galvani auf das Entschiedenste bestritten, aber von Volta durch folgenden Versuch bewiesen.

Fig. 232.



Volta's Grundversuch. Zwei kreisrunde Platten, die eine von Kupfer, die andere von Zink, die 5 bis 8 Cm. im Durchmesser haben, werden mit isolirenden Handgriffen aus Glas versehen und auf einer Spiegelglasscheibe eben geschliffen; sie müssen blank und frisch metallisch sein. Man hält die Platten mittels der isolirenden Handgriffe, setzt sie aufeinander

und trennt sie wieder. Darauf bringt man die Kupferplatte in Berührung mit dem oberen Draht, die Zinkplatte an den Vertheilungsdraht des Vertheilungselektrometers. Erfolgt der Ausschlag nicht sogleich, so wird das Verfahren mehrere Mal wiederholt; dann werden die Goldblättchen sich abstoßen und die Elektricität des Kupfers anzeigen. Prüft man dieselbe, so zeigt sie sich negativ; das Kupfer hat in Folge der Berührung negative Elektricität erhalten. Das Zink ist positiv elektrisch geworden; um seine Elektricität darzuthun, bringt man das Zink an den oberen Draht des Elektrometers.

Aus dem Volta'schen Grundversuch folgt über die Entstehung der galvanischen Elektricität als

> **Erstes Gesetz:** Durch die gegenseitige Berührung zweier Metalle wird Elektricität erregt.

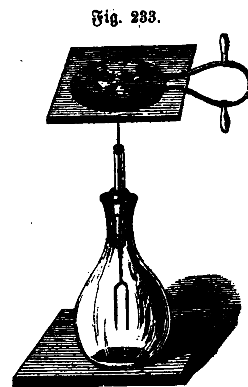
Die an der Berührungsstelle der beiden Metalle thätige elektrische Kraft trennt die im natürlichen Zustande der Körper verbundenen Elektricitäten in positive und negative und treibt von der Berührungsstelle aus nach dem Zink positive, nach dem Kupfer negative Elektricität. Beide Elektricitäten haben das Bestreben, sich wieder zu vereinigen; aber die beide trennende Kraft gestattet ihnen nicht, über die Berührungsstelle zurückzukehren. Die Stärke der elektrischen Erregung ist bei verschiedenen Metallen sehr verschieden; so wird Zink in Berührung mit Platin oder mit Kohle, die gleich den Metallen Elektricität erregt, weit stärker elektrisch, als durch Berührung mit Kupfer. Ferner wird ein und dasselbe Metall durch Berührung mit dem einen Metall positiv, mit einem andern negativ elektrisch, wie zum Beispiel Kupfer in Berührung mit Zink negative Elektricität erhält, in Berührung mit Platin positiv elektrisch wird. Folgende Reihe, die elektrische Spannungsreihe, ist so geordnet, daß jeder Körper in Berührung mit einem der folgenden positiv, mit einem der vorhergehenden negativ elektrisch wird, und um so stärker, je weiter sie in der Reihe von einander abstehen: + Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle —. Somit wird Zink in Berührung mit allen Metallen positiv elektrisch, und am stärksten in Berührung mit Platin und Kohle; Zink und Kupfer, Zink und Platin, Zink und Kohle sind die gewöhnlichsten Zusammenstellungen fester Elektricitätserreger.

§. 202. Erregung von Elektricität durch gegenseitige Berührung eines Metalls und einer Flüssigkeit.

Die Entstehung von Elektricität durch zwei sich berührende feste Körper hat Volta bewiesen, aber die Elektricitätserregung durch Berührung eines festen und eines flüssigen Körpers zu wenig beachtet.

Zweiter Grundversuch. Auf ein sehr empfindliches Elektrometer wird eine oben sorgfältig eben geschliffene Zinkplatte geschraubt; auf diese legt man eine möglichst dünne Glasplatte, die ringsum vor der Zink-

Fig. 233.



platte hervorragt. Auf der oberen Fläche der Glasplatte wird die zu prüfende Flüssigkeit, etwa verdünnte Schwefelsäure, in einer dünnen Schicht ausgebreitet, und ein mit zwei isolirenden Handgriffen versehener, kreisförmig gebogener Zinkstreifen mit der Zinkplatte, und an seinem anderen Ende mit der Flüssigkeit in Berührung gebracht. Die dadurch erregte Elektricität des Zinks ist noch gebunden (§. 173). Nimmt man an den isolirenden Griffen zuerst den Zinkstreifen, dann die Glasplatte weg, so zeigt das Elektrometer an, daß das Zink durch Berührung mit der Flüssigkeit negativ elektrisch geworden ist.

Zweites Gesetz: Durch die gegenseitige Berührung eines Metalles und einer Flüssigkeit wird Elektricität erregt.

Derselbe Versuch ist mit Platten und Streifen anderer Metalle und mit Kohle angestellt und hat gelehrt, daß unter allen Körpern Zink durch Berührung mit einer Flüssigkeit am stärksten negativ elektrisch wird, während die Flüssigkeit positive Elektricität annimmt.

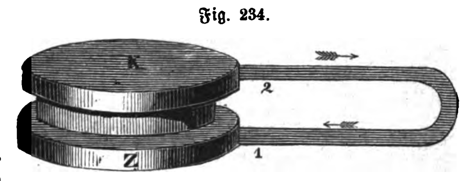
Um die Stärke der Elektricitätserregung durch die Berührung zweier Metalle mit der durch Berührung eines Metalles und einer Flüssigkeit hervorgebrachten zu vergleichen, wird in der Vorrichtung Fig. 233 eine Platin- oder Kupferplatte an die Stelle der Flüssigkeit gebracht, und der Versuch sonst auf dieselbe Weise angestellt. Das Elektrometer zeigt dann, daß die durch Berührung mit der Flüssigkeit im Zink erregte Elektricität weit stärker ist, als die durch Berührung mit einem anderen Metalle. Das aus Wasser oder verdünnter Schwefelsäure hervorragende Ende des Zinks wird durch die Flüssigkeit weit stärker negativ, als es durch Berührung mit einem andern Metall positiv elektrisch wird. Daraus ergiebt sich die wichtige Folgerung, daß die gegenseitige Berührung einer Flüssigkeit und eines festen Erregers als die Hauptquelle der galvanischen Elektricität anzusehen ist.

§. 203. Galvanische Kette und galvanischer Strom.

Legt man auf eine Zinkplatte eine Tuchscheibe, die man zuvor in verdünnte Schwefelsäure getaucht hat, so wird in Folge der gegenseitigen Berührung das Zink negativ, und die Flüssigkeit positiv elektrisch. Beide Elektricitäten streben sich wieder zu vereinigen, was jedoch an der Berührungsstelle nicht vor sich gehen kann. Wenn man aber auf die feuchte Scheibe eine Kupferplatte legt, welche sie in vielen Punkten berührt, so nimmt diese als Leiter der Elektricität die positive Elektricität der feuchten Scheibe an, und biegt man einen Kupferdraht so, daß er mit dem einen Ende die Zinkplatte, mit dem andern die Kupferplatte berührt,

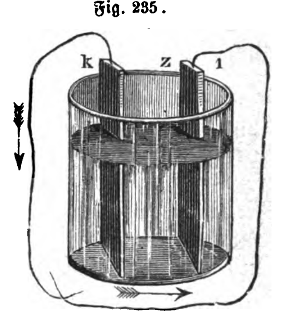
so erfolgt durch den Draht die Wiedervereinigung der getrennten Elektricitäten. Die positive Elektricität der Flüssigkeit strömt über die Kupferplatte und den Kupferdraht zu der negativen des Zinks. Da aber das Zink mit der feuchten Scheibe fortwährend in Berührung bleibt, so werden dadurch in demselben Augenblick beide wieder elektrisch, die Elektricitäten durchströmen wieder den Draht und vereinigen sich wieder; aber sogleich werden sie von neuem erregt. In der Vorrichtung (Fig. 234) wird jedoch nicht bloß durch das Zink in Berührung mit der Flüssigkeit Elektricität hervorgerufen; sondern das Kupfer berührt das Zink mittels des Kupferdrahtes an der mit 1 bezeichneten Stelle. Von hier aus begiebt sich positive Elektricität zum Zink in derselben Richtung, welche der durch die Flüssigkeit erregte positive Strom hat, so daß beide sich zu einem stärkeren Strom vereinigen. Diese Vorrichtung, in welcher zwei Metalle in Berührung mit einer Flüssigkeit sind, heißt eine einfache galvanische Kette oder ein galvanisches Element.

Fig. 234.



Eine zweite Form der galvanischen Kette (Fig. 235) erhält man, indem man eine Zinkplatte und eine Kupferplatte in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glas stellt, innerhalb dessen sie sich nicht berühren dürfen, und an die hervorragenden Enden beider Metalle Kupferdrähte löthet. Die Drähte, welche die Metalle einer galvanischen Kette in leitende Verbindung mit einander setzen, heißen Schließungsdrähte. Durch dieselben strömt, wenn sie sich berühren, ununterbrochen die positive Elektricität der Flüssigkeit über das Kupfer zum Zink, und eben dahin strömt auch von der Berührungsstelle beider Metalle die durch diese erregte positive Elektricität; ihr entgegen bewegt sich die durch beide Erregungsquellen entstandene negative Elektricität. Wenn man von der Richtung des galvanischen Stromes spricht, so ist stets die Richtung des positiven Stromes gemeint, welche in den Zeichnungen durch die Pfeile bezeichnet ist. Der Strom einer galvanischen Kette durchläuft den Schließungsdraht stets in der Richtung nach dem Zink hin, mag er nun von Kupfer, Platin oder Kohle kommen. Bei der außerordentlichen Geschwindigkeit der Elektricität (§. 183) durchläuft er den Schließungsdraht in jedem Augenblick unzählige Mal; doch eben so oft fließt er aus den Berührungsstellen des Zinks mit der Flüssigkeit und mit dem anderen Metall, wie aus nicht versiegenden Quellen, hervor. Die Spannung der galvanischen Elektricität, d. h., das aus der Abstoßung ihrer Theile hervorgehende Bestreben, sich auszubreiten, ist so gering, daß die galvanischen Grundversuche nur mit sehr empfind-

Fig. 235.



lichen Vorrichtungen anzustellen sind; aber sie zeichnet sich aus durch **die anhaltende Dauer ihrer Bewegung** und ihrer Wirkungen. Nur ist dafür Sorge zu tragen, daß in den Ketten keine Veränderungen vorgehen, welche die Elektricitätserregung schwächen und unmöglich machen.

§. 204. Die constanten galvanischen Ketten.

Die älteren galvanischen Ketten oder Elemente sind nur auf kurze Zeit im Stande, einen galvanischen Strom hervorzubringen. Durch den galvanischen Strom wird nämlich das in der verdünnten Schwefelsäure enthaltene Wasser in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Der Wasserstoff setzt sich an das Kupfer, trennt es von der Flüssigkeit und schwächt dadurch den Strom in hohem Grade. Der Sauerstoff begiebt sich zum Zink, bildet an dem Zink Zinkoxyd und wird dadurch der Einwirkung von Zink und Flüssigkeit auf einander hinderlich. Der Engländer Daniell vermuthete nun 1836, daß man, um eine längere Zeit gleich bleibende oder constante Wirkung einer Kette zu erhalten, das Kupfer in eine sehr sauerstoffreiche Flüssigkeit stellen müsse; der sich bildende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff dieser Flüssigkeit zu Wasser und gelangt nicht an das Kupfer; diese Flüssigkeit mußte aber von der verdünnten Schwefelsäure durch ein Gefäß getrennt werden, welches dem Strom kein bedeutendes Hinderniß entgegenstellte.

Dazu dienen die porösen Thonzellen, die in Becherform aus der Masse der thönernen Pfeifen gefertigt werden; sie werden, wenn man Wasser hineingießt, in einer Minute auf der Außenseite ganz feucht; doch dürfen sie keine Risse haben, so daß das Wasser hindurchträufeln könnte. Man läßt sie, so oft sie gebraucht sind, einen Tag lang in einer Schüssel mit reinem Wasser liegen; sonst werden sie mürbe und zerbrechen leicht; wenn sie wieder getrocknet sind, ist es gut, sie nicht in der Nähe von Metallen aufzubewahren. Will man nicht die nachher zu erwähnende Bunsen'sche Kette von einem Mechaniker beziehen, sondern sich selbst eine Zink-Kohlen-Kette anfertigen, so bedarf man einer Thonzelle von etwa 12 Cm. Höhe. Diese wird in ein Trinkglas gestellt, aus welchem sie nur wenig hervorragt, und das nur so viel weiter ist, als die Thonzelle, daß ringsum zwischen der inneren Wand des Glases und der Thonzelle ein Raum von der Breite eines Fingers frei bleibt. Dadurch werden zwei getrennte Räume gebildet, der eine innerhalb der Zelle, der andere rings um dieselbe. Statt des Thonbechers kann man in der Daniell'schen Kette auch Thierblase anwenden und nach §. 213 b. über einen hölzernen Rahmen spannen; für die übrigen Ketten ist sie nicht brauchbar, da sie von starken Säuren zerfressen wird. Wohl aber kann man sich für alle Ketten brauchbare durchlassende Cylinder aus Gyps selber herstellen. Man fertigt zu diesem Zwecke zwei Cylinder mit Boden aus Pappe, den einen so groß, daß er den Gypscylinder, den man formen will, auswendig umschließt, den andern um so viel enger, daß er inwendig in den Gypscylinder passen würde. Den engeren Cylinder hält man frei schwebend

in dem größeren so, daß ihre Wände überall gleich weit abstehen; in den Zwischenraum zwischen beiden gießt man den gebrannten Gyps, der mit Wasser zusammengerührt ist. Die Masse muß nur so viel Flüssigkeit enthalten, daß sie in wenigen Augenblicken fest wird. Eine Stunde später kann man die Pappcylinder entfernen, indem man den äußeren auseinander rollt, den inneren aber zusammenrollt. Schon am folgenden Tage kann man die Gypszelle, welche der Thonzelle völlig gleiche Dienste leistet, gebrauchen.

Fig. 236.

In den äußeren Raum, welcher die Thonzelle umschließt, kommt das Zink. Man lasse sich vom Klempner ein recht starkes Zinkblech schneiden, so hoch, wie die Thonzelle; es wird zu einem Cylinder gebogen, der sich bequem in das Glas einschieben läßt und die Thonzelle genau umschließt. Oben läßt man einen fingerbreiten, 3 Cm. hohen Zinkstreifen beim Schneiden des Blechs stehn. An diesen wird ein Kupferdraht von 30 Cm. Länge gelöthet, welcher der eine Schließungsdraht werden soll.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Wirkung einer galvanischen Kette erhöht wird, wenn man den Zinkcylinder mit einer dünnen Schicht Quecksilber überzieht oder amalgamirt. Um neue Zinkcylinder zu amalgamiren, thut man etwas Quecksilber in eine Untertasse, übergießt es mit concentrirter Salzsäure und taucht das Zink ein, so daß es das Quecksilber berührt. Man hat den Cylinder nur zu drehen, damit er ringsum mit dem Quecksilber in Berührung komme; in wenigen Minuten ist das Amalgamiren vollendet. Während das Zink ungebraucht steht, zieht sich das Quecksilber leicht in Tröpfchen zusammen, breitet sich aber beim Gebrauch sogleich wieder aus. Sollen schon gebrauchte Zinkcylinder von neuem amalgamirt werden, so ist nur nöthig, die Kette vollständig zusammenzusetzen und in die verdünnte Schwefelsäure, worin das Zink steht, einige Tropfen Quecksilber zu gießen. Man kann auch Quecksilber in Königswasser (§. 262) auflösen, demselben eine diesem gleiche Menge Salzsäure zusetzen und das Zink dann eintauchen. Zu erinnern ist, daß Quecksilber ein Gift ist, und daß die nachfolgenden Versuche sich anstellen lassen, ohne das Zink zu amalgamiren.

In den äußeren Raum der galvanischen Kette, zwischen Thonzelle und Glas, wohin der Zinkcylinder zu stellen ist, wird verdünnte Schwefelsäure gegossen. Die concentrirte Schwefelsäure, die man aus der Apotheke erhält, kann man in dem Glase selbst verdünnen, nachdem man die Thonzelle herausgenommen hat. Man gießt zuerst Wasser ein und gießt zu demselben nach und nach einige Tropfen Säure; es muß das langsam, von Zeit zu Zeit geschehen, weil die Flüssigkeit sich erhitzt, und das Glas springen könnte. Für die meisten Fälle ist ein Raumtheil Säure auf 10 Theile Wasser zu rechnen. Ist das Zink amalgamirt, so kann man auf 5 Raumtheile Wasser einen Theil Säure nehmen und dadurch die Stärke des galvanischen Stromes bedeutend vermehren. Die Oberfläche der Flüssigkeit muß eine Fingerbreite tiefer stehen, als der Rand des Glases.

Die bisher bezeichnete Einrichtung ist fast allen constanten Ketten gemeinsam; besonders aber unterscheiden sie sich von den älteren Ketten dadurch, daß (innerhalb der Thonzelle) eine zweite Flüssigkeit angewandt wird. In jeder constanten Kette werden zwei feste Erreger in zwei Flüssigkeiten angewandt. Die zweite Flüssigkeit muß nach Maßgabe des zweiten festen Erregers gewählt werden, der in dieselbe gestellt werden soll. In Gebrauch sind besonders drei constante Ketten:

1) die Grove'sche oder Zink-Platin-Kette,
2) die Bunsen'sche oder Zink-Kohlen-Kette,
3) die Daniell'sche oder Zink-Kupfer-Kette.

a. **Die Grove'sche Kette.** Die von Grove erfundene Kette ist die wirksamste, aber auch, weil Platin fünfmal so theuer, als Silber ist, zugleich die theuerste. Grove hatte auf den Boden eines Trinkglases einen thönernen Pfeifenkopf gekittet, probirte die Wirkung verschiedener Metalle und fand die Wirkung des Platin auffallend stark. Außerhalb der Thonzelle steht der amalgamirte Zinkcylinder in verdünnter Schwefelsäure, innerhalb der Zelle Platin in concentrirter Salpetersäure (§. 262). Da man des hohen Preises wegen dünnes Platinblech wählt, fertigt man einen hölzernen Deckel, der auf die Thonzelle paßt, schneidet durch die Mitte desselben eine schmale, längliche Oeffnung und schiebt durch diese einen vorstehenden Streifen des Platinblechs. Auf der unteren Seite des Deckels wird eine Rinne von der Form eines lateinischen S eingeschnitten, das Platin in dieselbe geschoben und darin mit Siegellack festgekittet. Diese gebogene Form erhält das Metall darum, weil dann mehr Platin in der Thonzelle Platz hat und wirksamer ist, als ein weniger breiter, nicht gebogener Streifen. Auf der oberen Seite des Deckels ist der hervorragende Streifen des Platinblechs zwischen ein gebogenes Kupferblech festgenietet, das auf den Deckel geschraubt ist. An dies Kupferblech und an das Zink können kupferne Schließungsdrähte gelöthet werden; noch bequemer ist es, an beide kupferne Klemmschrauben zu schrauben, die oben eine Bohrung haben, um die Schließungsdrähte einschieben und durch Umdrehen der Schrauben festklemmen zu können. Fig. 239. Beim Eingießen der Salpetersäure in die Thonzelle ist darauf zu achten, daß nicht durch Unvorsichtigkeit auch zum Zink Salpetersäure komme; nach dem Gebrauch ist das Platin mit Wasser abzuspülen, das Zink mit Leinwand abzureiben, und die Thonzelle in eine Schüssel mit Wasser zu legen.

b. **Die Bunsen'sche Kette.** (Fig. 237.) Die Zink-Kohlen-Kette kommt in ihrer Wirksamkeit der Grove'schen Kette nahe; ihre Einrichtung ist ganz dieselbe, nur wird das Platin durch einen massiven Kohlencylinder oder eine Kohlenplatte vertreten, die innerhalb der Thonzelle, gleichfalls in concentrirter Salpetersäure, steht. Als Kohle wählt man Retortenkohle, die Kohle, welche den Rückstand in den Retorten der Gasbereitungsanstalten bildet. Oben an eine solche Kohlenplatte wird ein

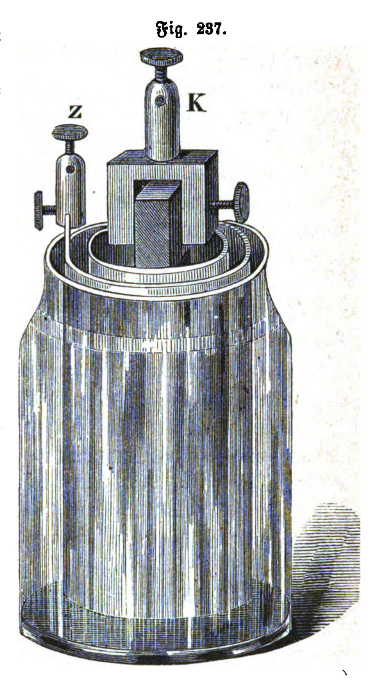


Fig. 237.

starkes Kupferblech festgeklemmt; hat die Kohle die Form eines Cylinders, so wird oben um denselben ein Ring aus Kupferblech gelegt; an das Kupferblech wird der Schließungsdraht geschraubt.

Um sich selbst eine Zink-Kohlen-Kette auf billige Weise zu fertigen, nimmt man Koks, wie sie zur Heizung verwandt werden, und stößt sie zu einem gröblichen Pulver. Dies Pulver wird in eine Untertasse geschüttet, mit (roher) concentrirter Salpetersäure, wie sie jede Apotheke liefert, ein wenig angefeuchtet und in die Thonzelle geschüttet. Ein Koksstück von kleinerem Umfang, als die Zelle, läßt man unzerstoßen, umwickelt es oben mit blank geschabtem Kupferdraht, von dem ein 30 Cm. langes Ende als Schließungsdraht frei bleiben möge, und drückt das Koksstück vorsichtig in das Kokspulver der Thonzelle. Der außerhalb der Zelle in verdünnter Schwefelsäure stehende Zinkcylinder braucht nicht amalgamirt zu sein, muß aber nach dem Gebrauch mit Sand oder Ziegelmehl gescheuert werden; das Kokspulver wird ausgeschüttet und getrocknet und bei einem späteren Versuch von neuem mit Salpetersäure angefeuchtet. Es lassen sich mit dieser Kette, wenn die übrigen Vorbereitungen getroffen sind, nach einander die Versuche §. 206, 207, 210, 212, 214, 215, 216, 218, 219 und 226 anstellen.

Die Wirkung der Zink-Kohlen-Ketten ist die kräftigste, wenn die Kohle in concentrirte Salpetersäure gestellt wird. Allein wenn auch nach dem Gebrauch die Kohle sorgfältig gereinigt ist, und die Thonzelle mehrere Tage in Wasser gelegen hat, so bleibt doch in beiden Salpetersäure zurück; es entwickeln sich immer noch untersalpetersaure Dämpfe, welche metallene Gegenstände angreifen. Man darf deshalb die Kohle, besonders aber die Thonzelle, nicht in demselben Raum mit anderen Apparaten aufbewahren. Aus diesem Grunde ersetzt man, während für das Zink die verdünnte Schwefelsäure beibehalten wird, häufig die Salpetersäure durch eine andere Flüssigkeit, nämlich durch eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure. Man bezieht aus einer Apotheke oder Droguenhandlung rothes doppeltchromsaures Kali, schüttet dasselbe in eine Flasche, gießt Fluß- oder Regenwasser dazu und schüttelt das Gefäß von Zeit zu Zeit um. Es bildet sich eine gesättigte Lösung von doppeltchromsaurem Kali. Soll dieselbe gebraucht werden, so gießt man von derselben in ein cylinderförmiges Glas 9 Raumtheile, so daß sie z. B.

9 Cm. hoch im Glase steht, und dazu gießt man 1 Raumtheil concentrirter englischer Schwefelsäure. Diese Flüssigkeit wird in die Thonzelle gegossen, und die Kohle hineingestellt. Bei der Retortenkohle kommt es nicht auf ihre Form, sondern nur darauf an, daß sie in die Thonzelle gestellt werden kann und oben aus derselben hervorragt. Solche Kohlenstücke kann man aus Gasbeleuchtungsanstalten erhalten; müssen sie zersägt werden, so ist zu bedenken, daß diese Kohle überaus hart ist. Mit doppeltchromsaurem Kali liefert die Zink-Kohlen-Kette einen etwas schwächeren, aber längere Zeit dauernden Strom, als mit Salpetersäure.

Auf den französischen Telegraphenlinien ist seit 1865 eine Zink-Kohlen-Kette in Gebrauch, deren Einrichtung von Leclanché angegeben ist. Die Thonzelle enthält eine Kohlenplatte und ist außerdem mit grobkörnigem Braunstein (Manganhyperoxyd) und Kohlenstücken angefüllt. In dem Raum außerhalb der Thonzelle befindet sich ein amalgamirter Zinkstab; dieser Raum ist bis zur Hälfte seiner Höhe mit einer concentrirten Lösung von Salmiak (Chlorammonium) in Wasser angefüllt, während die Körper in der Thonzelle ziemlich trocken bleiben. Die Kraft einer solchen Kette ist größer, als die der Daniell'schen Kette; ihre Dauer beträgt ein bis $1\frac{1}{2}$ Jahr; während dieser Zeit hat man nur nöthig, das Wasser, das verdunstet ist, zu ersetzen.

c. Die Daniell'sche Kette. Die Zink-Kupfer-Kette bringt einen schwächeren, aber mehrere Monate anhaltenden Strom hervor. In der Thonzelle steht ein Kupfercylinder, ganz ähnlich gearbeitet, wie der etwas weitere Zinkcylinder; die Flüssigkeit in der Thonzelle ist eine Auflösung von Kupfervitriol in Wasser. Siehe Fig. 238.

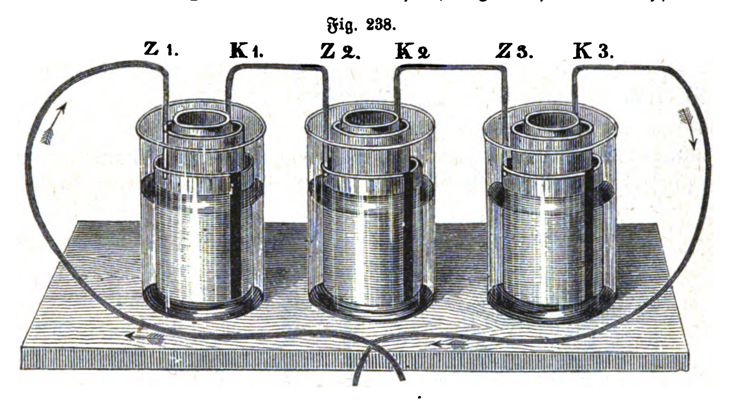
Eine Abänderung der Daniell'schen Kette ist die Meidinger'sche Kette, welche keine Thonzelle enthält. In der Daniell'schen Kette werden die Thonzellen leicht unbrauchbar; die Kupfervitriollösung, die in den oberen Theil der Zellen eingedrungen ist, verdunstet (§. 369), und es bilden sich in den Zwischenräumen des Thons kleine Krystalle von Kupfervitriol, welche den Thon auseinandersprengen und die Zelle zerstören. Meidinger hat deshalb unten in ein weites, hohes Glasgefäß ein Trinkglas gestellt; dieses enthält einen Kupfercylinder in Kupfervitriollösung. Das weitere Gefäß enthält weiter nach oben einen Zinkcylinder und ist mit einer Lösung von Bittersalz (oder schwefelsaurer Magnesia) gefüllt. Weil die Bittersalzlösung viel leichter ist, als die Kupfervitriollösung, und sich lange von derselben getrennt erhält, haben diese Ketten keine Thonzelle, dürfen aber auch nicht von einem Ort nach einem andern getragen werden. Obwohl nicht von großer Kraft, zeichnen sie sich durch ihre 10 Monate dauernde, gleichmäßige Wirksamkeit aus und finden für die elektrischen Telegraphen vielfach Anwendung. — Auf den deutschen Telegraphenlinien sind Meidinger'sche Ketten von folgender Einrichtung in Gebrauch. Es wird ein gewöhnliches Becherglas genommen; ein Zinkcylinder, halb so hoch, als das Glas, und oben mit drei hervorragenden Streifen versehen, wird in das Glas gehängt, so daß seine Hervorragungen auf dem oberen Rande des Glases ruhen. Auf dem Boden des Glases

liegt ein Bleiblech, das sich beim Gebrauch mit Kupfer überzieht und dann ebenso, wie Kupfer, wirkt; der von dem Blei kommende Schließungsdraht führt nach oben, und die innerhalb des Glases befindliche Strecke desselben ist mit Guttapercha überzogen. Das Glas wird mit Bittersalzlösung gefüllt, und in diese werden Stücke von Kupfervitriol gelegt.

§. 205. Die zusammengesetzte constante Kette.

Um stärkere Wirkungen zu erhalten, verbindet man mehrere constante einfache Ketten, etwa mehrere Daniell'sche Ketten, so, daß man den vom Kupfer kommenden Schließungsdraht der einen Kette oder des einen Elements an den vom Zink kommenden Schließungsdraht der nächsten Kette

Fig. 238.



schraubt. Diese Verbindung mehrerer einfachen Ketten heißt eine zusammengesetzte Kette oder eine galvanische Batterie. Die Schließungsdrähte des ersten Zinkcylinders und des letzten Kupfercylinders sind dann die Schließungsdrähte der Batterie. Sie wird angewandt, um die Spannung der entgegengesetzten Elektricitäten zu erhöhen und dadurch dieselben zu zwingen, durch weniger gut leitende Körper, wie durch sehr lange Drähte oder schlecht leitende Flüssigkeiten, zu strömen.

Galvanische Licht- und Wärme-Erscheinungen.

§. 206. Der galvanische Funke.

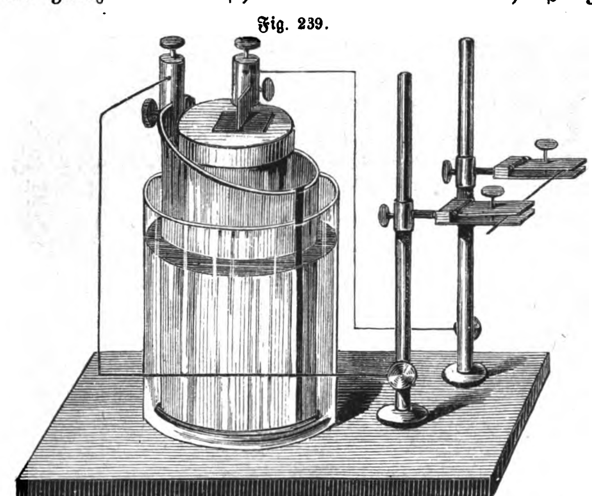
Versuch. Bevor man die aus Zink und Kokspulver gefertigte Zink-Kohlen-Kette oder eine Bunsen'sche Kette mit den Flüssigkeiten füllt und zusammenstellt, schabe man die Enden der Schließungsdrähte mit feinem Messer sorgfältig blank. Sobald die Drähte an den Enden nicht frisch metallisch und mit der geringsten nicht leitenden Schicht bedeckt

sind, vermag der galvanische Strom bei seiner geringen Spannung nicht von einem Drahte zum andern überzugehen. Man legt die Enden der Schließungsdrähte zusammen und schiebt unter einigem Druck das eine auf der blanken Stelle des andern Schließungsdrahtes hin und her. So oft dabei der eine Draht über die kleinen Vertiefungen des andern weggleitet, beide also von einander durch einen sehr kleinen Zwischenraum getrennt, und der galvanische Strom unterbrochen wird, erscheint ein äußerst kleiner Funke von sehr lebhaftem Licht. — Noch deutlichere und mehr Funken nimmt man wahr, wenn man den einen Schließungsdraht gegen eine blanke Stelle einer Feile drückt und den andern auf der Feile hin- und herschiebt. Das Erscheinen des Funkens kann man als ein Zeichen ansehen, ob die Kette in Wirksamkeit sei.

§. 207. Das Glühen von Drähten.

Versuch. Zugleich mit der Thonzelle, die man am besten von einem Mechaniker kauft, lasse man sich für etwa 30 Pfennige von dem dünnsten, haarfeinen Platindraht kommen. Das eine Ende desselben wird um eine glänzend metallische Stelle des einen Schließungsdrahtes gewickelt, und der andere Schließungsdraht mit der Hand so auf den gespannt gehaltenen Platindraht gedrückt, daß ein Stückchen desselben von 3 bis 6 Mm. Länge die leitende Verbindung zwischen beiden Schließungsdrähten herstellt. Indem sich der galvanische Strom durch den Platindraht hindurchdrängt, der, weil er so dünn ist, die Bewegung der Elektricität erschwert, wird der kurze Draht roth glühend. Durch Hin- und Herschieben des Schließungsdrahtes findet man bald die Länge des Drahtes, bei welcher durch die Kette sein Glühen leicht hervorgebracht wird; man kann, da die glühende Stelle zwischen beiden Schließungsdrähten liegt, sein eines Ende mit der Hand halten, ohne sich zu verletzen. Fig. 239 zeigt zwei Klemmen, die zum Einspannen des Drahtes bequem sind.

Fig. 239.



Anwendungen. Dies Glühen von Metalldrähten durch Galvanismus findet beim Sprengen von Minen und Felsen Anwendung und ist in

Folge der vielen Unglücksfälle, über die man sonst zu klagen hatte, besonders in England in Aufnahme gekommen. Die dazu gefertigten Patronen bestehen aus einer mehrere Cm. langen Röhre, in welche zwei sich nicht berührende Kupferdrähte geschoben sind; mitten in der Röhre befindet sich ein sehr feiner Eisendraht, der an die Enden der Kupferdrähte gelöthet ist und sie leitend verbindet; nachdem sie mit Pulver gefüllt worden ist, wird sie durch Korke verschlossen, aus deren einem die 3 M. langen Drähte hervorragen. Das in den Felsen gearbeitete Bohrloch wird halb mit Pulver gefüllt, dann die Patrone und nach ihr der zweite Theil der Pulverladung, ein Pfropfen von Werg und zuletzt Sand hinein geschoben. Die Enden der Patronendrähte werden durch 20 bis 30 M. lange Kupferdrähte mit der galvanischen Batterie verbunden; die Person, welche die Verbindung der Drähte mit den Schließungsdrähten der Batterie und die in demselben Augenblick erfolgende Sprengung zu besorgen hat, muß häufig noch weiter von der Mine entfernt sein und die Verbindung der Drähte durch eine Schnur herstellen können.

Im Januar des Jahres 1843 war eines Tages bei der Round-Down-Klippe unweit Dover eine zahlreiche Menschenmenge versammelt, um dem Ausgange einer der großartigsten Sprengungen beizuwohnen, welche beim Bau einer Eisenbahn nöthig war, und zu welcher die Vorarbeiten, die Anlegung der Schachte, Jahre erfordert hatten. Durch eine große Batterie wurden 185 Centner Pulver auf einmal entzündet; fast lautlos ward die ungeheure Klippe ins Meer geschleudert, und eine große Fläche 6 M. hoch mit den Trümmern von Kalkfelsen bedeckt. — Um das Landen feindlicher Schiffe bei einem Fort oder einem anderen Theil der Küste zu verhindern, legt man vor dem zu schützenden Orte Reihen von Torpedos. Ein Torpedo ist ein 3 M. langer, an den Enden abgerundeter Cylinder aus dickem Eisenblech, welcher mit 400 Klgr. Pulver oder 150 Klgr. Dynamit (mit Infusorienerde gemengtem Nitroglycerin, §. 264) gefüllt ist. Diese Cylinder werden in das Wasser versenkt, so daß sie sich 4 M. unter der Oberfläche desselben befinden. Die Torpedos können mit Selbstzündern versehen werden, welche unmittelbar unter dem Wasserspiegel schwimmen und, wenn ein Schiff sie berührt, die Explosion herbeiführen. Allein diese Einrichtung kann auch befreundeten Schiffen gefährlich werden, und das Eintreten der Entzündung ist nicht ganz sicher. Deshalb bringt man innerhalb des Torpedos eine Patrone an, in welcher zwei Kupferdrähte durch einen sehr dünnen Eisendraht verbunden sind; von den Kupferdrähten führen durch das Wasser mit Guttapercha überzogene Leitungsdrähte nach dem Beobachtungsorte, von dem aus durch Schließen einer Batterie die Explosion des Torpedos in dem rechten Zeitpunkt herbeigeführt werden kann.

§. 208. Das elektrische Kohlenlicht.

Als der Engländer Davy in der vergeblichen Hoffnung, durch Galvanismus Kohle in Diamant zu verwandeln, der nichts Anderes ist,

als reiner Kohlenstoff, zugespitzte Holzkohlen zwischen die Schließungsdrähte seiner Riesenkette von zweitausend Elementen brachte, geriethen die sich berührenden Kohlen in Gluth und brachten ein von dem Auge kaum zu ertragendes Licht hervor. Die glühenden Kohlenspitzen ließen sich mehrere Cm. weit von einander trennen; es bildete sich ein prächtiger Lichtbogen zwischen ihnen, und es entwickelte sich eine Hitze, in welcher Platin schmolz, und Diamanten verflüchtigt wurden. Dies **elektrische Kohlenlicht** hat man auch Solarlicht genannt.

Versuche über Straßenbeleuchtung mit dem elektrischen Kohlenlicht sind von Jacobi zu Petersburg angestellt. Im December 1849 wurden von dem schönen Admiralitätsthurme aus die Hauptstraßen der Stadt zwei Stunden lang durch das Kohlenlicht beleuchtet. Die Batterie, welche den Strom lieferte, war eine Bunsen'sche Zink-Kohlen-Batterie aus 185 einfachen Ketten von ansehnlicher Größe. Die Kohlen waren auf einer Gallerie in der Höhe eines vierstöckigen Hauses angebracht; das Licht strahlte so hell, daß die Gasflammen dagegen roth und rußig erschienen, und daß man trotz der Gasbeleuchtung in einer Entfernung von 300 M. noch die durch das elektrische Licht verursachten Schatten unterscheiden konnte. Allein öfters erlosch es ganz auf einige Augenblicke, und die Kohle an dem einen Schließungsdrahte verbrannte so schnell, daß immer nach einer halben Stunde eine neue Kohle eingesetzt werden mußte. Später ist es gelungen, durch besondere Vorrichtungen die Kohlen längere Zeit in derselben Entfernung von einander zu erhalten und ein anhaltendes Licht zu erzielen. Bei den großartigen Bauten, durch welche Napoleon III. Paris verschönert hat, kam es darauf an, daß auch die Nächte hindurch gearbeitet werden konnte, und das ist durch das elektrische Kohlenlicht ermöglicht worden. Ferner findet das elektrische Kohlenlicht auf Leuchtthürmen, in dem photoelektrischen Mikroskop (§. 334.) und auf der Bühne Anwendung.

Bei der Aufführung des Propheten von Meyerbeer dient es dazu, den Sonnenaufgang darzustellen. Die Sonnenscheibe bildet ein Hohlspiegel von 30 Cm. im Durchmesser, die Kohlen glühen in seinem Brennpunkt, und ihre gegenseitige Entfernung wird durch ein Räderwerk regulirt. In der Oper Moses von Rossini murrt das Volk und verlangt die Rückkehr nach Aegypten. Da tritt Moses aus seinem Zelte; sein langes, weißes Gewand strahlt von blendendem Licht, und seine ganze Gestalt leuchtet im hellsten Glanze. Das Volk erschrickt bei diesem Anblicke und fällt auf die Kniee. Es sind drei Lampen mit elektrischem Kohlenlicht so aufgestellt, daß ihre Strahlen den Darsteller des Mose treffen, und der galvanische Strom wird in dem Augenblick hergestellt, in welchem er aus dem Zelte heraustritt. Ein Regenbogen wird auf der Bühne hervorgebracht, indem man vor den glühenden Kohlen einen bogenförmigen Spalt und ein Glasprisma (§. 335.) anbringt. Von schöner Wirkung ist auch der leuchtende Springbrunnen, dessen herabfallende Wasserstrahlen durch das Kohlenlicht beleuchtet werden, nachdem dasselbe durch farbige Gläser gedrungen ist.

Chemische Wirkungen des galvanischen Stroms.

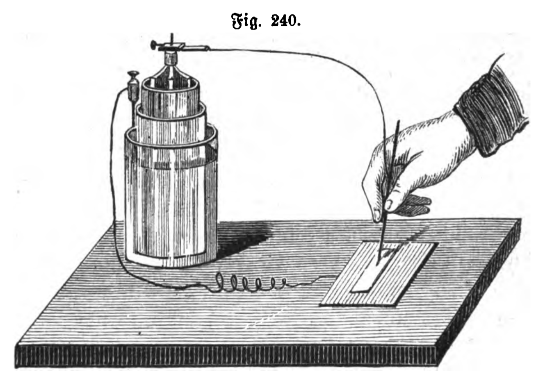
§. 209. Zersetzung von Grünspan.

Versuch. Man nimmt eine abgegriffene Silbermünze und macht sie mit Hülfe einer Feile und durch Reiben auf einem Brettchen auf einer Seite völlig glatt und blank. Mitten auf die Münze bringt man einige Tropfen Grünspanlösung, die man sich entweder selber bereitet, indem man eine Kupfermünze von Zeit zu Zeit mit Essig besprengt und den entstandenen Grünspan durch ein Paar Tropfen Essig auflöst, oder die man sich herstellt, indem man für wenige Pfennige käuflichen Grünspans in einem Gläschen mit Essig übergießt und mehrere Stunden stehen läßt. Der Grünspan ist ein aus mehreren Stoffen, aus Essig, Sauerstoff und Kupfer, zusammengesetzter Körper und wird deshalb essigsaures Kupferoxyd genannt; er ist sehr giftig. Mitten in die kleine Menge Grünspanlösung, die man mittels eines Glas- oder Holzstäbchens auf die Silbermünze bringen kann, hält man ein unten zugespitztes und blank geschabtes Stückchen Zinkblech, so daß es das Silber berührt. Durch die Berührung der beiden Metalle und der Flüssigkeit entsteht ein galvanischer Strom; derselbe geht durch die Flüssigkeit, zersetzt sie und bewirkt, daß das in ihr enthaltene Kupfer sich an die Silbermünze setzt. Hat man die Berührung des Zinks mit Silber und Flüssigkeit lange genug fortgesetzt, so bemerkt man an der Berührungsstelle einen dunklen Kreis von Kupfer, um diesen lagert sich ein hellerer Kreis, den wieder ein dunkler und noch ein heller umschließt; ihr Aussehen ist heller oder dunkler, je nachdem die sich ablagernde Kupferschicht dünner oder stärker ist.

§. 210. Zersetzung von Jodkalium.

Versuch. Ein wichtiges Arzneimittel ist das Jodkalium, ein weißes Salz, dessen Name schon anzeigt, daß es ein zusammengesetzter Körper ist. Sechs Gr. Jodkalium werden in ein Gläschen geschüttet und mit Wasser übergossen; es löst sich sogleich auf. In diese Jodkaliumlösung taucht man ein schmales Streifchen von ungeleimtem weißem Druckpapier, das man von dem Rande einer Zeitung abschneiden kann, legt es auf eine Silbermünze, die dadurch keinen Scha-

Fig. 240.

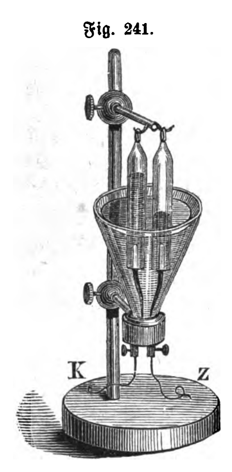


den leidet, und schiebt unter die Münze den vom Zink kommenden Schließungsdraht der galvanischen Kette. Gegen den anderen Schließungsdraht drückt man ein Stückchen Platindraht oder eine Silbermünze und berührt mit dem Draht oder dem scharfen Rande der Münze das mit Jodkaliumlösung reichlich getränkte Papier. Der galvanische (positive) Strom geht von der Kohle durch den Kupferdraht und Platindraht zum Jodkalium und weiter durch die Silbermünze und den andern Schließungsdraht zum Zink. Wo er durch das Jodkalium geht, zeigen sich braune Punkte oder, wenn man den Platindraht auf dem Papier bewegt, braune Streifen von Jod, einem Element, das durch den galvanischen Strom aus seiner Verbindung ausgeschieden ist.

§. 211. Zersetzung des Wassers und der Alkalien.

Die Zersetzung des Wassers in die beiden luftförmigen Körper, aus denen es besteht, war eine der ersten Wirkungen des galvanischen Stroms, die man kennen lernte. Um einen Wasserzersetzungsapparat zu fertigen, nimmt man einen Glastrichter, verschließt ihn unten mit einem Kork, durch welchen neben einander zwei Platindrähte geschoben sind, die nach oben in den Trichter hervorragen. An ihre anderen Enden werden die Schließungsdrähte einer mindestens aus drei einfachen Ketten zusammengesetzten Kette geschraubt. Beim Gebrauch wird nun der Trichter größtentheils mit Wasser gefüllt. Der von dem Kupfer oder der Kohle kommende positive Strom geht dann durch den Platindraht zur linken Seite der Zeichnung ins Wasser, das die galvanische Elektricität schlecht leitet und ebendarum eine zusammengesetzte Kette nöthig macht, durch dasselbe hindurch zum andern Platindraht und zu einem Zinkcylinder der Kette. Dabei steigen an den Spitzen der Platindrähte fortwährend Luftblasen auf. Um sie aufzufangen, füllt man zwei Probircylinder mit Wasser, kehrt sie um, indem man ihre Oeffnung mit dem Daumen verschließt, taucht sie in das Wasser des Trichters, zieht den Finger weg und bringt jeden Cylinder über einen Platindraht. Die Gasbläschen steigen in den Cylindern empor, und zwar erhält man am negativen Schließungsdraht zwei Raumtheile Wasserstoff, am positiven einen Raumtheil Sauerstoff. Nimmt man die gefüllten Gläschen einzeln heraus, so wird der Wasserstoff in dem Probircylinder zur Rechten an einer genäherten Flamme sich entzünden und verpuffen; in dem Sauerstoff des anderen Cylinders aber wird ein hineingehaltenes Stückchen glimmenden Zündschwammes mit heller Flamme brennen.

Fig. 241.



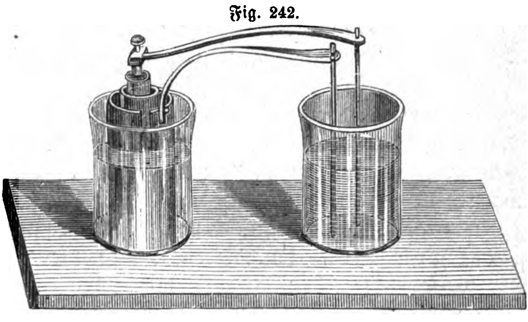
Im Jahre 1807 gelang es dem Engländer Davy zuerst mit einer großen Batterie aus 200 einfachen Ketten, die Alkalien, Kali und Natron,

in Metalle und Sauerstoff zu zerlegen. Ebenso enthalten alle Erdarten, z. B. Alaunerde, Metalle.

§. 212. Galvanische Verkupferung und Vergoldung.

Versuch. In ein Trinkglas wird etwas Kupfervitriol gethan, der in der Form eines blauen Salzes in jeder Apotheke zu haben, und wovon für 10 Pfennige für die nächsten Versuche hinreichend ist, und mit Wasser, am besten mit Flußwasser oder Regenwasser, übergossen. Es bildet sich eine Kupfervitriollösung von schöner blauer Färbung. Darauf verschaffe man sich zwei Drähte, einen Kupferdraht und einen Eisendraht (eine Stricknadel) oder statt desselben einen Messingdraht, und reinige sie, bis sie überall eine frisch metallische Oberfläche zeigen. Mit der einen Hand drückt man das obere Ende des Kupferdrahtes an den positiven, von der Kohle kommenden Schließungsdraht der galvanischen Kette und taucht ihn in die Kupfervitriollösung. Mit der andern Hand drückt man den Eisendraht, der verkupfert werden soll, gegen den negativen, vom Zink kommenden Schließungsdraht und taucht ihn gleichfalls in die Flüssigkeit. Der galvanische Strom geht durch die Auflösung des Kupfervitriols oder schwefelsauren Kupferoxyds, zersetzt dieselbe, und schon nach wenigen Minuten nimmt man den rothen Kupferüberzug wahr, der sich an den Eisendraht gesetzt hat.

Fig. 242.



Sollen Gegenstände für den wirklichen Gebrauch dauerhaft mit einem anderen Metalle überzogen werden, so geschieht die Vergoldung mit einer einfachen Daniell'schen Kette, die Verkupferung aber mit einer Batterie aus mindestens drei solcher Ketten. Als zu zersetzende Flüssigkeiten dienen die Cyanverbindungen der Metalle. Zur Verkupferung erhitzt man eine Kupfervitriollösung mit etwas Kali und Krümelzucker, bis sich ein rother Niederschlag gebildet hat, den man auswäscht und in einer Cyankaliumlösung auflöst. Stereotypplatten zum Drucken von Büchern überzieht man mit einer dünnen Kupferschicht und macht sie dadurch weit dauerhafter. Man verkupfert Leinwand, die zum Dachdecken verwandt wird und billiger zu stehen kommt, als ein Ziegeldach; sie wird mit Steinkohlentheer getränkt, auf einer Seite mit Graphitpulver (§. 246) eingerieben und dadurch leitend gemacht und dann der galvanischen Verkupferung ausgesetzt. Ebenso werden Früchte und Körbe zu Tafelaufsätzen mit Graphit eingerieben, dann verkupfert und darauf mit Silber überzogen. In Portsmouth hat man sogar ein ganzes Kriegsschiff auf galva-

nischem Wege mit Kupfer überzogen; ein Bassin, welches das Schiff faßte, füllte man mit Kupfervitriollösung, beschwerte das Fahrzeug, das auswendig mit heißem Pech bestrichen und mit Graphit leitend gemacht war, mit Ballast und hängte rund herum Pergamentbeutel mit Salzwasser und Zink; vom Zink führten Drähte zum Graphitüberzug; nach drei Tagen war die Außenseite des Schiffes mit einer sehr starken Kupferschicht überzogen.

Für die galvanische Vergoldung wird Gold in Königswasser, einer Mischung von 2 Gewichtstheilen Salzsäure und einem Theil Salpetersäure, in einem Glasgefäß aufgelöst, und dasselbe in ein Gefäß mit Wasser gehängt, das man im Kochen erhält, bis alle Flüssigkeit der Goldlösung verdampft ist; der Rückstand ist Goldchlorid, wird in Wasser gelöst und zu einer Lösung von Cyankalium zugesetzt. Die zu vergoldenden Gegenstände, z. B. silberne Löffel, müssen zuvor auf das Sorgfältigste gereinigt werden, was mit siedender Lauge und verdünnter Schwefelsäure geschieht. Nachdem an den positiven Schließungsdraht ein Streifen Goldblech gehängt und in die Goldauflösung gebracht ist, wird auch der zu überziehende Gegenstand, der an einer Stelle mit Platindraht umwickelt ist, in die Flüssigkeit getaucht und durch den Platindraht mit dem negativen, vom Zink kommenden Schließungsdraht der Kette verbunden. Der Löffel überzieht sich bald mit einer dünnen Goldschicht, die desto stärker wird, je länger man ihn in der von der galvanischen Elektricität durchströmten Flüssigkeit läßt. Der Goldgehalt der Flüssigkeit bleibt unverändert; so viel Gold sie verliert, ebensoviel löst sie von dem Goldstreifen auf. Bei einem sorgfältigen Verfahren kommt die galvanische Vergoldung an Schönheit der Feuervergoldung gleich, welche durch Anwendung und Verdampfung von Quecksilber der Gesundheit der Arbeiter sehr schädlich ist. Aehnlich ist das Verfahren beim Verzinken, Versilbern und Platiniren metallischer Gegenstände.

§. 213. Die Galvanoplastik.

Versuch a. Um den unteren Rand eines kurzen Lampencylinders lege man, nachdem man denselben über der Spirituslampe allmählich erwärmt hat, eine gleichmäßig dicke Lage Siegellack und überbinde die untere Oeffnung mit angefeuchteter Thierblase oder angefeuchtetem Pergament, wie es zum Ueberziehen der Trommeln dient. Das Festbinden geschieht mit einer Darmsaite oder mit einem Bindfaden, den man mit Wachs oder Pech bestrichen hat. Der Cylinder soll in ein nicht zu niedriges Trinkglas gehängt werden und wird oben in den hölzernen Deckel des Glases gekittet. Statt des mit Pergament verschlossenen Cylinders läßt sich auch eine Thonzelle anwenden, die oben einen vorspringenden Rand hat.

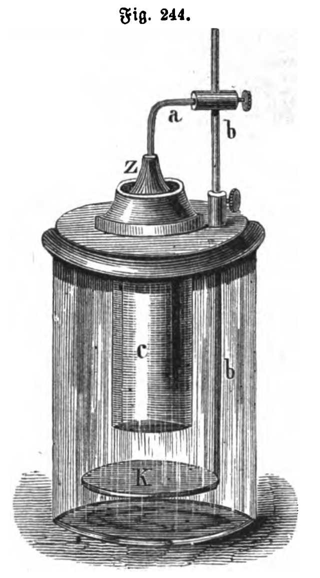
Außerdem lasse man mit ihren Enden einen anderthalb Finger breiten, 16 Cm. langen Streifen von starkem Zinkblech mit einem doppelt so langen Sreifen von dünnem Kupferblech zusammenlöthen, der nur die Breite eines Fingers zu haben braucht. Das erhaltene Blechband wird

so gebogen, daß das freie Ende des Kupfers, etwas länger als der Durchmesser des Cylinders, wagerechte Lage bekommt, dann das Kupfer lothrecht aufsteigt, und von seinem oberen Ende das Zink hinabhängt. Das Kupfer wird mit Talg oder Wachs bestrichen; nur die Mitte des wagerechten Endes läßt man frei, schabt sie blank und legt, nachdem man das Zink in den Cylinder geschoben, hierhin die silberne Münze, von der man auf galvanischem Wege einen Abdruck haben will. Sie muß blank sein und am Rande mit Talg überzogen werden. Damit man nachher den erhaltenen Abdruck leichter von der Münze ablösen könne, bringt man einen Tropfen Rosmarinöl auf etwas Baumwolle und überfährt damit überall die Oberfläche der Münze, doch so, daß nirgends Perlen oder sichtbare Spuren des Oels zurückbleiben. Nun füllt man den Cylinder zum Theil mit verdünnter Schwefelsäure (ein Raumtheil Schwefelsäure auf 20 bis 30 Theile Wasser), das Trinkglas aber eben so hoch mit Kupfervitriollösung (§. 212), in welcher sich noch etwas nicht aufgelöster Kupfervitriol befindet. Der galvanische Strom zersetzt den Kupfervitriol, und metallisches Kupfer fällt auf die obere Fläche der Münze nieder. Diesen Vorgang läßt man zwei Tage oder länger dauern. Unterdessen setzt man der verdünnten Schwefelsäure, wenn keine Luftblasen mehr daraus aufsteigen, ein paar Tropfen starker Schwefelsäure zu; in die Kupfervitriollösung thut man nach und nach noch einige Stückchen Kupfervitriol; auch beobachtet man von Zeit zu Zeit das Kupfer, das sich auf der Münze abgelagert hat. Erscheint dasselbe nicht mehr rein rosenroth, so nimmt man den Cylinder sammt dem Metallstreifen aus dem Glase, taucht die wagerechte Strecke des Streifens sammt der Münze in eine flache Schale mit Wasser und bürstet darin das abgelagerte Kupfer rein. Darauf setzt man die Vorrichtung wieder zusammen. Hat die Kupferschicht eine genügende Stärke erreicht, so läßt sie sich mit einem Messer von der Münze leicht als ein zusammenhängendes Ganzes ablösen. Sie bildet einen vertieften Abdruck der erhabenen Stellen des Originals; um eine dem Original durchaus ähnliche Copie herzustellen, legt man den ersten Abdruck auf den Kupferstreifen und läßt darauf sich einen Abdruck ablagern, welcher die erhabenen Stellen des Originals nun auch erhaben abbildet. Will man sehen, mit welcher Treue und Genauigkeit die galvanoplastischen, durch den galvanischen Strom gebildeten, Abdrücke ausfallen, so kann man auf die abzubildende Münze mit einer Nadel einige Striche machen, die man vollkommen getreu in der Copie

Fig. 243.

Z K

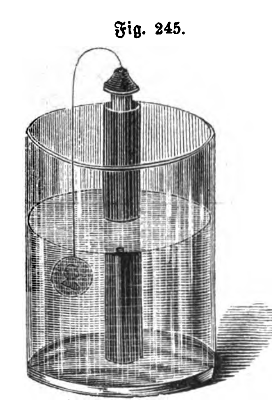
Fig. 244.



wiederfinden wird. Unsere Vorrichtung ist, besonders für kleinere galvanoplastische Arbeiten, vielfach in Gebrauch; sie wird der einfache galvanoplastische Apparat genannt, und arbeitet langsam, aber mit großer Sicherheit.

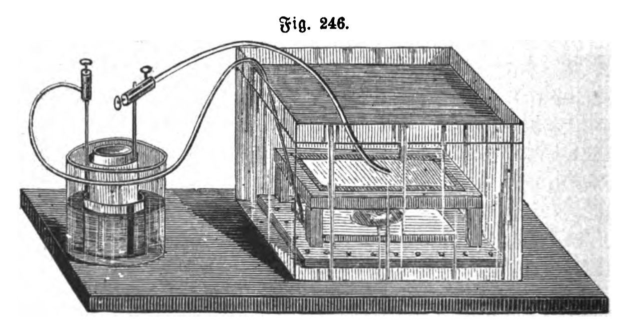
Versuch b. In mancher Hinsicht bequemer ist eine andere Form, die man dem galvanoplastischen Apparat geben kann. In ein weiteres Glas ist ein poröser Thoncylinder gestellt. Statt desselben wendet man mit Vortheil eine Thierblase an, indem man auf ein viereckiges Brettchen vier lothrechte Holzstäbe befestigt, dieselben oben durch dünne Querleisten trennt und über diesen Rahmen die angefeuchtete Thierblase so zieht, daß oben ihre Oeffnung ist. In diesen porösen Cylinder kommt die sehr verdünnte Schwefelsäure und ein Zinkblech; oben an dasselbe ist ein Kupferdraht oder Kupferblech gelöthet; dieser Kupferstreifen wird senkrecht abwärts gebogen, so daß sein unteres Ende in das weitere Trinkglas mit Kupfervitriol eintaucht. Die abzubildenden Münzen erhalten hier lothrechte Stellung. Man bindet sie an den Kupferstreifen mit Fäden fest, überstreicht die Rückseite der Münze, ihren Rand und das Kupfer mit geschmolzenem Pech, unter das ein wenig Wachs gethan ist, und schneidet dann die haltenden Fäden weg. Sonst verfährt man nach der vorher gegebenen Anweisung.

Fig. 245.



Zum Abbilden größerer Gegenstände wendet man eine constante Kette oder Batterie an, befestigt an den vom Zink kommenden Schließungsdraht die abzubildende Figur, schraubt an den andern Schließungsdraht einen Kupferstreifen und senkt beide, von einander getrennt, in ein Gefäß

Fig. 246.



mit Kupfervitriol. Auch unsere Zink-Kohlen-Kette läßt sich, nachdem sie zu den folgenden elektromagnetischen Versuchen verwandt worden ist und an Stromstärke verloren hat, zu galvanoplastischen Versuchen gebrauchen. Man biegt die Enden beider Schließungsdrähte zu kleinen Ringen, legt auf den vom Zink kommenden, größtentheils mit Talg oder Wachs überzogenen

Draht die Münze und taucht beide Schließungsdrähte so in ein Glas mit Kupfervitriol, daß sie nicht weit von einander abstehen, sich aber nicht berühren.

Jakobi zu Petersburg, der Begründer der Galvanoplastik, der Kunst, von Münzen, Kupferplatten oder ganzen Figuren Abdrücke in Metall durch den galvanischen Strom herzustellen, wurde durch den Gebrauch einer Daniell'schen Zink-Kupfer-Kette auf seine berühmte Erfindung geführt. Er bemerkte im Jahre 1838, daß der Kupfercylinder der häufig benutzten Kette sich nach und nach mit einer starken Kupferschicht überzogen hatte, und wollte ihn von diesem Ueberzug wieder befreien; die Kupferschicht ließ sich als ein zusammenhängendes Ganzes ablösen, und merkwürdiger Weise fand Jacobi eine jede Vertiefung, ja jeden Feilstrich des Kupfercylinders aufs Genaueste abgebildet. Anfänglich wagte man es, werthvolle Münzen und Medaillen, die man galvanoplastisch vervielfältigen wollte, selbst dem Apparat anzuvertrauen; jetzt fertigt man in der Regel eine Form, indem man die gereinigte, mit einem Rande von Papier umgebene Münze anhaucht und mit geschmolzenem Wachs, unter welches ¼ Gips gemischt ist, übergießt. Auch die Guttapercha wird zur Herstellung der Form angewandt. Durch Ueberpinseln mit englischem Graphit wird die Form für den galvanischen Strom leitend gemacht, an das Kupfer des Apparats befestigt und am Rande mit Klebwachs umhüllt. Hohlspiegel stellt man auf folgende Weise her. Man gießt in eine Schale geschmolzenes Rose'sches Metall (§. 360), drückt auf dasselbe, wenn es fest werden will, ein erhabenes Glas, nimmt es wieder ab und bringt die Metallform in den galvanoplastischen Apparat; derselbe bildet eine erhabene Kupferform; auf dieser läßt man zuerst Silber sich ablagern und dann zur Verstärkung Kupfer, so daß man beim Abtrennen der Kupferform einen silbernen Hohlspiegel (§. 304) erhält. Von großer Wichtigkeit ist das galvanische Vervielfältigen von Kupferstichplatten und von Holzschnitten geworden; bei den Kupferstichen blieb stets zu bedauern, daß die Schönheit der Abdrücke sehr bald abnahm, ehe die verlangte Anzahl abgezogen war; die Galvanoplastik hat diesem Uebelstande abgeholfen. Nachdem von der gestochenen Platte, um die vorkommenden Härten zu mildern, eine kleine Anzahl Abdrücke genommen ist, bringt man sie in einen einfachen galvanoplastischen Apparat und lagert auf ihr eine Form ab, welche die Erhabenheiten des Originals vertieft darstellt; von dieser Form werden, wiederum auf galvanischem Wege, mehrere Abdrücke gewonnen, die der Originalplatte so vollkommen gleich sind, daß es kaum möglich scheint, eine vollkommnere Gleichheit zweier Gegenstände zu bilden. Schwierigkeit macht jedoch die galvanoplastische Herstellung ganzer Figuren, und wenn man bald nach dem Bekanntwerden der neuen Erfindung der Meinung war, daß in Zukunft Metallgefäße, Kanonen und Monumente nicht mehr gegossen, sondern galvanoplastisch hergestellt werden würden, so kam man von dieser Ansicht zurück, als sich die Schwierigkeiten offenbarten, welche Ablagerungen in Hohlformen mit sich bringen. Das Kupfer

setzt sich in ihnen nur an die dem Schließungsdrahte nächsten Stellen der Form und erst, nachdem man diese mit Wachs bedeckt hat, an andere Punkte. Doch sind in dem galvanoplastischen Institut von Winkelmann zu Berlin die Figur des betenden Knaben und die colossale Christusstatue nach Thorwaldsen vollkommen gelungen. Das Guttenbergdenkmal zu Frankfurt am Main, welches aus drei Hauptstatuen von Guttenberg, Fust und Schäffer, und vielen kleineren Figuren besteht, ist auf galvanoplastischem Wege hergestellt. Ebenso ist die Bildhauerarbeit an der Trajanssäule galvanoplastisch nachgebildet; die Säule hat der Senat zu Rom dem Kaiser zum Andenken an seine Siege setzen lassen; sie ist gegen 40 M. hoch und in 20 schraubenförmig emporsteigenden Windungen mit Bildhauerarbeiten geziert, welche für die Geschichte jener Zeit große Wichtigkeit haben. Die Figuren an dem unteren Theil der Säule sind 60, die an dem oberen Theil 120 Centimeter hoch; die Zahl der Figuren beträgt 2000 bis 3000. Von diesen Bildhauerarbeiten sind Gypsabdrücke genommen, und nach ihnen in dem Etablissement von Oudry bei Paris galvanoplastische Copien gefertigt.

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stroms.

(Elektromagnetismus.)

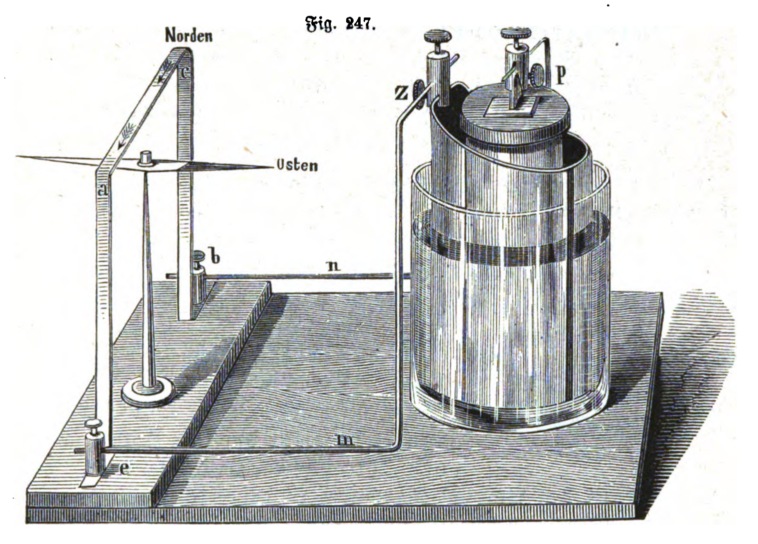
§. 214. Oersted's Entdeckung.

Obwohl man längst geahnt hatte, daß die Elektricität von magnetischen Wirkungen begleitet werde, wußte man doch nicht mehr davon, als daß einst in einer Schusterwerkstätte zu Alkmaar, in welche der Blitz eingeschlagen hatte, die Arbeiter, nachdem sie sich von ihrem Schreck erholt hatten, zu ihrem Erstaunen fanden, daß der Pfriemen von dem Messer, und das Messer von der Scheere magnetisch angezogen wurde und daran hängen blieb. Ferner segelten 1675 zwei englische Schiffe nach Barbados; in der Nähe der Bermudas-Inseln wurde das voransegelnde Fahrzeug von einem Blitz getroffen; der Capitain des andern Schiffes bemerkte bald darauf, daß das getroffene umkehrte, als wolle es nach England zurückkehren, und doch glaubte, auf dem rechten Wege zu sein. Es ergab sich, daß durch den Blitz die Compaßnadeln des getroffenen Schiffes umgekehrt worden waren, so daß sie mit ihrem früheren Nordpol nunmehr nach Süden zeigten. In Wakefield in der englischen Grafschaft York erhob sich im Jahre 1731 ein furchtbares Gewitter, es schlug an mehreren Stellen ein, unter anderen in das Haus eines Kaufmannes, woselbst der Blitz eine Kiste mit Scheeren, Messern und Feuerstählen traf und die Waaren umherstreute. Da fand sich nachher, als man die Sachen zusammensuchte, daß Alles, was von Stahl war, magnetisch geworden war,

und daß ein Messer mehrere trug. Es entdeckte im Jahre 1820 der dänische Naturforscher Oersted zu Kopenhagen, daß der Schließungsdraht einer galvanischen Kette die Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Stellung ablenkte. Er brachte zufällig einen glühenden Platindraht, durch welchen der positive Strom einer starken Batterie nach Süden floß, einer darunter befindlichen Magnetnadel nahe, und siehe, die Nadel zuckte, wurde abgelenkt, als wenn plötzlich ein starker Magnet in ihre Nähe gekommen wäre, und ihr Nordpol richtete sich nach Osten. Durch Beobachtung dieser Erscheinung ist Oersted der Entdecker des Elektromagnetismus, des durch den elektrischen Strom hervorgebrachten Magnetismus, geworden.

Versuch. Eine hängende oder auf einer Spitze schwebende Magnetnadel lasse man ihre Stellung ungefähr von Norden nach Süden einnehmen. Dann bringe man dicht über sie, mit ihr gleichlaufend, einen

Fig. 247.



Theil des Schließungsdrahtes einer galvanischen Kette ca, in welchem der positive Strom nach Süden fließt. Die Schwingungsdrähte kann man mit den Händen halten. Alsbald wird der Nordpol der Magnetnadel nach Osten hin abgelenkt, gleich als hätte man quer über den Schließungsdraht einen Magnet gelegt, dessen Südpol nach Osten gerichtet wäre. Der Schließungsdraht einer galvanischen Kette wirkt daher, wie ein quer über ihn gelegter Magnet.

§. 215. Das Ampere'sche Gesetz.

Versuch a. Der positive Schließungsdraht werde niedriger gehalten, so daß die Magnetnadel sich darüber befindet; die Nadel wird nach Westen abgelenkt.

Versuch b. Man bringe denselben Schließungsdraht neben die Nadel, gleich hoch mit ihr und mit ihr gleichlaufend, so daß die Nadel sich auf der Ostseite befindet. Dann tritt an der Magnetnadel ein Emporheben des Nordpols ein.

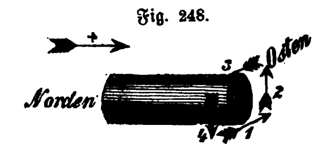
Versuch c. Schwebt die Nadel westlich neben dem positiven Schließungsdrahte, so senkt sich der Nordpol abwärts.

Alle diese Ablenkungen fallen entgegengesetzt aus, sobald dieselben Versuche so angestellt werden, daß der positive Strom den Schließungsdraht in der Richtung von Süden nach Norden durchläuft. Zusammengefaßt sind die verschiedenen Erscheinungen der Ablenkung in dem Ampere'schen Gesetze, welches angiebt, nach welcher Seite hin der Schließungsdraht den Nordpol der Nadel bewegt, oder wo der südliche, und somit auch, wo der nördliche Magnetismus wirksam ist, welcher den galvanischen Strom begleitet.

> **Ampere'sches Gesetz:** Man denkt sich eine mit dem positiven Strome schwimmende menschliche Figur, welche ihr Gesicht der Magnetnadel zuwendet; dann wirkt der Schließungsdraht nach der **linken Seite der Figur,** wie der **Südpol** eines Magnets.

In dem vergrößert dargestellten Stück des Schließungsdrahtes, in welchem der positive Strom von Norden kommt, hat die kleine gedachte Hülfsfigur den Kopf nach Süden gerichtet. Schwebt nun die Magnetnadel, wie beim Oersted'schen Versuche, unter dem Drahte, so wendet die Figur, welche stets die Nadel ansehen soll, ihr Gesicht nach unten und streckt ihren Arm nach Osten hin; es erfolgt die in 1 gezeichnete Ablenkung nach Osten. Um die über dem Schließungsdrahte befindliche Nadel anzusehen, muß die menschliche Figur auf dem Rücken schwimmen, und ihre linke Seite, nach welcher der Südmagnetismus den Nordpol der Nadel in der Stellung 3 ablenkt, liegt im Westen. Für die östlich vom Schließungsdraht hängende Nadel schwimmt die Figur auf ihrer rechten Seite, ihre linke Seite und die Ablenkung in 2 sind nach oben gerichtet; westlich vom Drahte, in der vierten Stellung, hat man sich die Hülfsfigur auf ihrer linken Seite schwimmend zu denken.

Fig. 248.



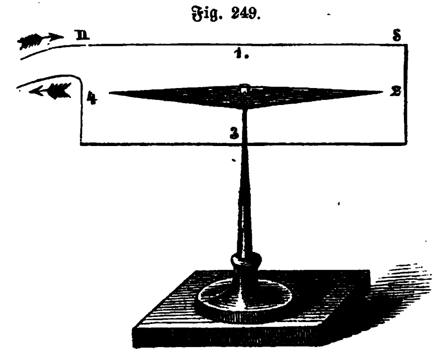
§. 216. Der Multiplicator.

Versuch. Ein Stück Kupfer- oder Messingdraht wird zu einem länglichen Viereck gebogen, das die Magnetnadel mit einigem Spielraum umschließt. Die eine Ecke des Vierecks bleibt offen, und die Enden des Drahtes werden, nachdem sie blank geschabt sind, so gebogen, daß man sie bei lothrechter Stellung des Vierecks bequem mit beiden Händen gegen die Schließungsdrähte der galvanischen Kette drücken kann. Die längeren

Seiten des Vierecks werden gleichlaufend mit der Magnetnadel gehalten. Sobald der galvanische Strom das Drahtviereck durchläuft, erfolgt eine weit stärkere Ablenkung der davon umschlossenen Nadel, als durch einen einfachen Schließungsdraht hervorgebracht wird.

Nach dem Ampere'schen Gesetze suchen nämlich alle Seiten des Vierecks die Nadel nach derselben Seite zu bewegen. Es durchfließe der positive Strom die erste, obere Seite des Vierecks in der Richtung nach Süden; dann steigt er in der kürzeren Seite 2 abwärts, nimmt in der unteren Vierecksseite seinen Lauf nach Norden und steigt die vierte, kürzere Seite wieder aufwärts, um durch den Schließungsdraht zum Zink in der Kette zu gelangen. Die hinzuzudenkende menschliche Figur schwimmt in der ersten Vierecksseite mit nach unten gewandtem Gesicht, in der zweiten steht sie auf dem Kopf, schwimmt in der dritten auf dem Rücken und steht in der vierten aufrecht. Die Hülfsfigur wendet in der

Fig. 249.



1. Seite den Kopf nach Süden, das Gesicht nach unten,
2. Seite den Kopf nach unten, das Gesicht nach Norden,
3. Seite den Kopf nach Norden, das Gesicht nach oben,
4. Seite den Kopf nach oben, das Gesicht nach Süden,

} folglich ihre linke Seite nach Osten.

Daher unterstützen sich alle vier Seiten des Vierecks in dem Bestreben, die Magnetnadel nach einer Seite abzulenken.

Die Ablenkung würde noch stärker ausfallen, wenn man ein zweites und drittes Viereck um die Nadel herumböge und den galvanischen Strom zwänge, sie zwei- oder dreimal zu umströmen. Die einzelnen Vierecke müßten der Magnetnadel nahe sein, sich aber unter einander nicht berühren, weil dann der galvanische Strom nicht alle durchlaufen, sondern, den kürzesten Weg einschlagend, von einem zum andern übergehen würde. Daher nahm Schweigger in Halle mit Seide übersponnenen und dadurch isolirten Kupferdraht und wickelte ihn in vielen Windungen um einen kleinen hölzernen Rahmen. Der Rahmen ist auf zwei

Fig. 250.

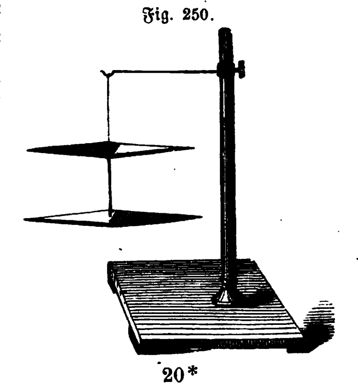
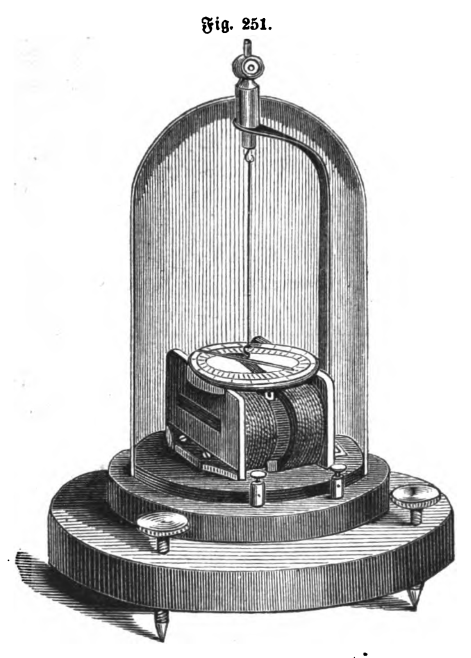


Fig. 251.



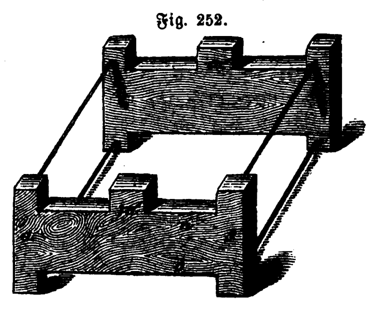
Seiten offen und oben mit einer länglichen Oeffnung versehen, um eine Magnetnadel hineinhängen zu können. Die Enden des Kupferdrahtes sind nicht besponnen und werden in Berührung mit den Schließungsdrähten einer galvanischen Kette gebracht, deren Stromstärke man schätzen will. Die Vorrichtung heißt **Galvanometer**, weil sie dient, nach der Stärke der Ablenkung die Stärke des Stromes zu schätzen und geringe Spuren von Galvanismus zu entdecken, oder sie wird **Multiplicator** genannt, weil die vielen Windungen die Ablenkung der Magnetnadel vervielfachen. Noch empfindlicher hat **Nobili** den Multiplicator gemacht, indem er statt einer Magnetnadel deren zwei angewandt hat, von denen die eine innerhalb, die andere über den Drahtwindungen schwebt; sie sind, mit einander gleichlaufend, durch ein Stäbchen gesteckt, so daß sich keine ohne die andere drehen kann; weil über den Windungen eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung eintritt, sind die Nadeln so durch ihre gemeinsame Axe, das Stäbchen, geschoben, daß der Nordpol der einen über dem Südpol der andern liegt. Eine solche Zusammenstellung zweier Magnetnadeln heißt eine **astatische Magnetnadel**, d. h. eine magnetische Doppelnadel mit sehr geringer Richtungsfähigkeit. So eingerichtet und durch eine übergedeckte Glasglocke gegen den Luftzug geschützt, ist der Multiplicator das empfindlichste Werkzeug, um das Vorhandensein galvanischer Ströme nachzuweisen.

Anfertigung eines Multiplicators. Für die folgenden Versuche (in diesem §., in §. 227, 230 und 231) ist folgende Einrichtung des Multiplicators die zweckmäßigste. Man fertigt sich aus zwei Brettchen und vier Stäben einen viereckigen **Rahmen**, der im Innern 4 Cm. lang und ebenso breit ist. Die dünnen, aus hartem Holz gearbeiteten Brettchen sind (in der Richtung von a nach s und von v nach w) 4,5 Cm. lang und ursprünglich 2 Cm. hoch. Jedes erhält oben zwei Einschnitte, so daß dort drei hervorragende Zapfen stehen bleiben, die 3 Mm. hoch und 4 Mm. breit sind. Das Holz zwischen den Einschnitten bleibt (von n bis o) 8 Mm. hoch; unten hat jedes Brettchen an jedem Ende einen Zapfen. Diese unteren Zapfen sollen in die Bohrungen eines Grundbrettes eingesetzt werden und werden deshalb ganz unten abgerundet. Die beiden

Brettchen werden mit einander durch 4 Stäbe verbunden, welche, die zur Einfügung dienenden Zapfen nicht mitgerechnet, 4 Cm. lang sind und aus Holz oder eisenfreiem, nicht zu dünnem Messingdraht gearbeitet werden können.

Weiter bedarf man eines gut mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes von 4 M. Länge und 0,6 Mm. Metalldicke. Derselbe wird so um den Rahmen gewickelt, daß er in den Einschnitten der Brettchen liegt und 30 Windungen bildet. Man läßt ein ungefähr 22 Cm. langes Drahtende frei, legt die folgende Strecke des Drahtes, nachdem ein Faden untergelegt ist, in den links bei a befindlichen oberen Einschnitt des einen Brettchens as, führt den Draht, während man sein Ende festhält, oben hinüber zu dem links befindlichen oberen Einschnitt des anderen Brettchens vw, um dies Brettchen herum und unterhalb der Brettchen zurück nach dem ersten. Der Draht wird straff angezogen, und eine Windung glatt neben die andere gelegt. Nachdem mehrere Windungen ausgeführt sind, läßt man einen Andern mittels des Fadens die erste Windung an die nächsten fest binden. Ist man beim Wickeln von 15 Windungen bis an die mittleren Zapfen m′ und m″ der Bretter gekommen, so führt man den Draht von dem Brettchen vw aus unten etwas schräg nach dem ersten Brettchen as zurück, so daß oben, zwischen den mittleren Zapfen, ein 4 Mm. breiter Schlitz frei bleibt. Darauf werden in den rechts befindlichen Einschnitten die Windungen angebracht, bis im Ganzen 30 ausgeführt sind. Die letzte Windung wird unten bei o an die vorhergehenden festgebunden; die zuletzt frei bleibende Drahtstrecke wird 22 Cm. lang gemacht, und an beiden Enden des Drahtes wird auf einer Länge von 2,5 Cm. die Umspinnung entfernt.

Fig. 252.



Den bewickelten Rahmen befestigt man mitten auf ein kreisförmiges Grundbrett von 9 Cm. Durchmesser, indem man die unteren Zapfen des Rahmens in 4 Bohrungen einsetzt. Will man auf dies Brett eine Glasglocke stellen, so leitet man die freien Drahtenden des Multiplicators eine Strecke unterhalb des Brettes entlang. Für jedes Drahtende durchbohrt man das Grundbrett zweimal, erstlich nahe dem Brettchen as und zweitens nahe dem Rande des Grundbrettes; von der einen Bohrung bis zur andern schneidet man auf der unteren Seite des Grundbrettes eine Rinne, schiebt den Draht durch die dem Rahmen nahe Bohrung, drückt ihn in die Rinne und läßt ihn durch die andere Bohrung wieder nach oben gelangen. Oben auf die oberen Zapfen des Rahmens leimt man eine Kreisscheibe aus Pappe. Man hat auf derselben zwei concentrische Kreise gezeichnet; der Halbmesser des einen ist 19, der des andern 22 Mm. lang. Darauf zieht man zwei Durchmesser, die sich unter rechten Winkeln durchschneiden, und deren Verlängerungen über den größeren Kreis hinaus-

reichen. Den Ring zwischen beiden Kreisen kann man in Grade eintheilen oder von 5 zu 5 Graden einen Theilstrich anbringen, obwohl zunächst nur beabsichtigt wird, mittels des Multiplicators das Vorhandensein schwacher Ströme zu erkennen. Der Nullpunkt der Theilung liegt am Ende von einem der beiden Durchmesser. In der Richtung desselben schneidet man aus der Pappe einen 4 Mm. breiten, 40 Mm. langen Schlitz; die Mitte seiner Breite giebt der eine Durchmesser, die Mitte seiner Länge der andere Durchmesser an. Die Pappscheibe wird so aufgeklebt, daß der in ihr angebrachte Schlitz genau zwischen den mittleren Zapfen m′ und m″ des Rahmens liegt. Bei dem 90. und dem 270. Grad der Theilung steckt man in die Pappscheibe innerhalb des kleinen Kreises lothrechte messingene Stifte, damit die Magnetnadel gehindert wird, einen Ausschlag zu geben, der über 90 Grad beträgt.

Was die astatische Doppelnadel betrifft, so nimmt man dazu zwei gleiche, nicht zu dicke Nähnadeln von 36 Mm. Länge und magnetisirt beide mit gleich viel Strichen (§. 132), doch so, daß an der Spitze der einen Nadel ihr Nordpol, an der Spitze der andern der Südpol derselben liegt. Die magnetische Kraft der einen Nadel soll von der der andern nur sehr wenig verschieden sein. Wenn nämlich beide Nadeln zusammengestellt sind, so giebt zwar die stärkere der Doppelnadel ihre Richtung; allein festgehalten in dieser Richtung werden die Nadeln nur durch den Ueberschuß an magnetischer Kraft, welchen die stärkere Nadel besitzt. Je geringer daher dieser Ueberschuß ist, desto leichter kann die Doppelnadel durch den galvanischen Strom bewegt werden, und desto empfindlicher wird der Multiplicator. Wie stark der Magnetismus der einzelnen Nadel ist, beurtheilt man aus der Zahl der Schwingungen, die sie machen. Man schiebt die eine Nadel durch ein schmales Streifchen Papier, das an einem dünnen, ungedrehten Seidenfaden aufgehängt ist, und zählt die Schwingungen, die sie in einer oder mehreren Minuten macht. Ebenso verfährt man mit der andern Nadel. Sind die Schwingungszahlen beider Magnetnadeln für die Minute nicht ungefähr gleich, so schwächt man den Magnetismus derjenigen Nadel, die zuviel Schwingungen macht. Man nimmt einen kleinen Magnet, ein magnetisirtes Stückchen einer Stricknadel, setzt den Südpol desselben auf den Nordpol der Nadel, streicht bis zu ihrer Mitte und hebt den Magnet empor. Ebenso setzt man den Nordpol des Magnets auf den Südpol der Nadel, streicht bis zu ihrer Mitte und hebt den Magnet empor. Dies Verfahren wiederholt man, bis die Nadel die gewünschte Zahl von Schwingungen macht. Beide Magnetnadeln werden, 12 Mm. von einander entfernt, so durch ein leichtes, dünnes Stäbchen von 2 Cm. Länge geschoben, daß sie genau mit einander gleichlaufend sind, und der Nordpol der einen Nadel über dem Südpol der andern liegt. Das Verbindungsstäbchen kann aus dem Schaft einer Krähenfeder, aus Fischbein oder aus Holz gearbeitet werden. Oben erhält es noch eine Durchbohrung, damit man einen Seidenfaden hindurchziehen und aus ihm eine kleine Schlinge bilden kann. An die Schlinge bindet man das untere Ende des feinen Seidenfadens, an dem die Doppelnadel hängen soll. Die freie Strecke desselben muß wenigstens 12 Cm. lang sein. Man

nimmt ungezwirnte Knopfmacherseide (§. 131), schneidet einen Faden von mehr als ausreichender Länge ab und bläst gegen das eine Ende desselben, bis die neben einander liegenden Fäden getrennt erscheinen; bei heller Beleuchtung hält man einen der feinen Fäden fest und entfernt die übrigen, indem man sie hinabzieht. Wird die Doppelnadel, deren einzelne Nadeln genau wagerecht schweben müssen, an dem feinen Faden aufgehängt, so darf sie in der Minute höchstens 12 einfache Schwingungen machen.

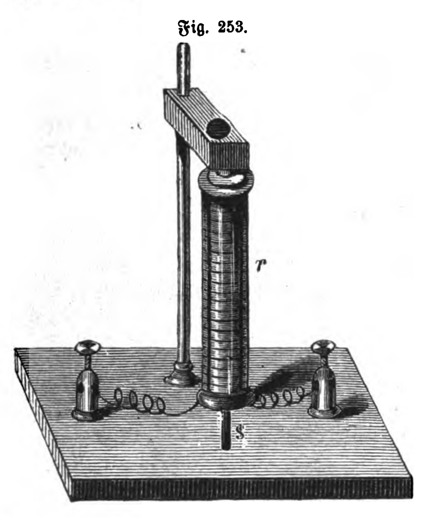
Als Tragsäule dient ein nicht zu dünner, 16 Cm. hoher Messingdraht, dessen oberes Ende zu einer wagerechten Strecke umgebogen ist. Man könnte diesen Draht auf das Grundbrett befestigen und oben an denselben das freie Ende des Fadens so binden, daß die untere Magnetnadel sich in der Mitte der Drahtwindungen befindet, während die obere Nadel über der kreisförmigen Pappscheibe schwebt. Indessen ist bei dieser Einrichtung die richtige Einstellung der Vorrichtung umständlich und zeitraubend. Man muß nämlich das Grundbrett durch untergeschobene kleine Holzkeile oder Schrauben genau wagerecht stellen, damit das Stäbchen der Doppelnadel im Mittelpunkt der Kreisscheibe schwebt. Nachher erst kommt die Magnetnadel zur Ruhe, und man muß das Grundbrett drehen, bis der an dem einen Ende mit Null bezeichnete Durchmesser der Kreisscheibe genau unter der oberen Nadel liegt; dabei bringt man das Grundbrett aus der wagerechten Lage und die astatische Nadel aus ihrer Ruhestellung, muß das Brett wieder wagerecht stellen und wieder drehen und Beides vielleicht mehrfach wiederholen. Diesem Uebelstand wird dadurch abgeholfen, daß man den Multiplicator noch mit einem zweiten, größeren Grundbrett versieht, welches die Form eines Kreises oder Quadrates hat; in die Mitte desselben wird ein oben hervorragender Zapfen aus Holz oder Messing befestigt; das kleinere Grundbrett, welches den Rahmen trägt, wird in der Mitte durchbohrt und so oben über den Zapfen geschoben, daß es sich um denselben mit geringer Reibung drehen läßt. Beim Gebrauch sichert man dem oberen, kleinen Grundbrett die wagerechte Lage, indem man das untere wagerecht stellt; darauf läßt man die Doppelnadel zur Ruhe kommen und dreht behutsam das obere Grundbrett, bis die Drahtwindungen dieselbe Richtung haben, wie die Magnetnadel. Bei dieser Einrichtung ist es am besten, die Tragsäule für den Faden auf das größere Grundbrett zu befestigen, so daß sie bei der Einstellung des Multiplicators nicht gedreht wird. Damit man die Nadel etwas heben oder senken könne, befestigt man das obere Ende des Fadens an eine Rolle; man durchbohrt eine kleine, fingerdicke und 3 Cm. lange Walze aus Holz in der Richtung ihrer Axe, feilt ringsherum eine Rinne ein und schiebt die Walze über das wagerechte obere Ende der messingenen Tragsäule. Die so gefertigte Rolle soll sich mit geringer Reibung drehen lassen. Um die Doppelnadel gegen Luftzug zu schützen, kann man entweder den Multiplicator einstellen und dann das Ganze mit einem großen, umgekehrten Glase bedecken, unter welchem die beiden Drahtenden hervorragen, oder, was bequemer ist, man stellt in eine rinnenförmige Vertiefung des kleineren Grundbrettes eine oben offene Glasglocke, welche nicht ganz so hoch ist, wie die Tragsäule.

Versuch. Ein 3 Cm. langes und ebenso breites Stück Zinkblech wird mit Sand blank gescheuert und auf den Tisch gelegt. Auf das Zink legt man ein mit Wasser angefeuchtetes, halb so großes Stückchen Löschpapier und auf dieses eine kleine Silbermünze (ein Zwanzigpfennigstück). Drückt man das eine Drahtende des Multiplicators mit der Hand auf das Zink, das andere auf das Silber, so erfolgt ein beträchtlicher Ausschlag der astatischen Nadel.

§. 217. Magnetismus einer Spirale.

Versuch. An eine 4 Cm. lange, 3 Mm. weite Glasröhre kittet man oben und unten vorstehende Ränder aus Holz oder Kork, so daß zwischen ihnen eine 2,5 Cm. lange Strecke frei bleibt. Um diese Strecke wickelt man 12 M. von besponnenem Kupferdraht, dessen Metallstärke 0,6 Mm. beträgt. Man beginnt an dem einen Ende zu wickeln und legt eine Windung fest und glatt neben die andere; ist man an dem andern Ende angelangt, so fängt man dort an, die zweite Lage Windungen auf die erste zu legen, kehrt nach dem ersten Ende zurück, legt von hier aus die dritte Lage auf die zweite. In ähnlicher Weise fährt man fort. Die erste und die letzte Windung bindet man mit Fäden fest. Die beiden, von der Seide befreiten Enden des Drahtes werden an eine galvanische Kette geschraubt. Die Drahtrolle oder Spirale wird magnetisch und zieht ein 2,5 Cm. langes Eisenstäbchen, ein Stückchen einer Stricknadel, das sich ohne Reibung in ihr bewegt und halb hineinragt, ganz in sich hinein, so daß es frei in der Luft lothrecht schwebt. Ist der durch die galvanische Kette erregte Strom weniger kräftig, so zieht die Spirale das Eisenstäbchen in sich hinein, wenn beide wagerecht liegen. Will man diesen Fall berücksichtigen, so wähle man die Glasröhre etwas länger und lasse das eine Ende derselben, in welches der Eisenstab gelegt werden soll, unbewickelt.

Fig. 253.



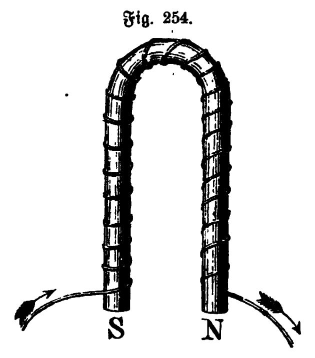
§. 218. Der Elektromagnet.

1. Anfertigung eines Elektromagnets. Da eine von dem Strom durchlaufene Drahtrolle magnetische Erscheinungen zeigt, kam der Engländer Sturgeon auf den Gedanken, den Schließungsdraht um ein Stück weichen Eisens zu wickeln, und erfand 1825 den Elektromagnet. Ein Elektro-

magnet ist ein Eisenstab, welcher durch den galvanischen Strom magnetisch gemacht wird.

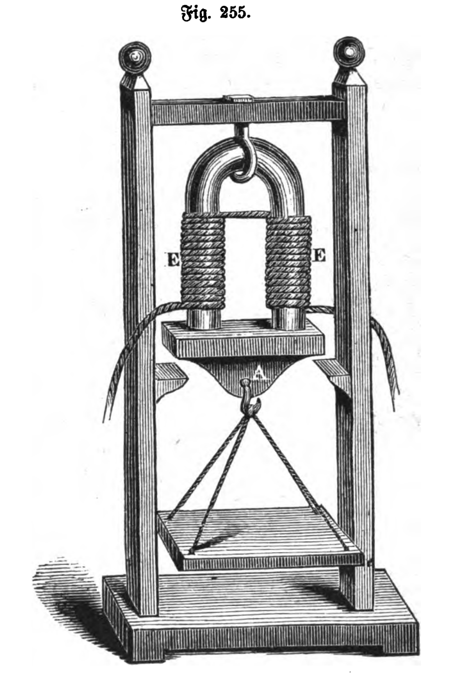
Jeder Elektromagnet besteht aus zwei Stücken, aus dem Eisenkern und den Drahtwindungen. Um den Eisenkern herzustellen, läßt man sich vom Schlosser ein walzenförmiges Eisenstück in Hufeisenform schmieden; es erhalte jeder Arm 9 Cm. Länge und einen Durchmesser von 2,5 Cm.; die Enden, an denen die Pole des Hufeisenmagnets liegen, werden eben gefeilt und mögen von einander 2,5 Cm. entfernt sein. Es kommt darauf an, daß von dem weichsten Eisen genommen werde. Nachdem es die angegebene Form erhalten hat, wird es, damit es weich bleibt, mit Lehm umhüllt, nochmals ins Feuer gelegt und nicht eher wieder herausgenommen, als bis das Feuer erloschen ist; es muß sich allmählich, ohne Anwendung von Wasser, abkühlen. Den Eisenkern beklebt man mit einer Lage von Papier oder dünnem Zeug so, daß die Pole frei bleiben.

Fig. 254.



Für die Drahtwindungen wird Kupferdraht angewandt, weil Kupfer nächst Silber das am besten leitende Metall ist. Der in dem Eisenkern durch den galvanischen Strom erregte Magnetismus nimmt mit der Anzahl der Windungen zu; um recht viel Windungen anbringen zu können, nimmt man besponnenen oder mit einem für den Galvanismus nichtleitenden Stoff überzogenen Kupferdraht. Bei der geringen Spannung der galvanischen Elektricität sind Seide oder Baumwolle geeignete Nichtleiter; der Draht kann daher mit Seide oder Baumwolle besponnen sein. Für die gewöhnlichen Versuche ist Draht geeignet, dessen Metalldurchmesser 0,6 oder 0,75 Mm. beträgt. Das halbe Klgr. des 0,6 Mm. dicken Kupferdrahtes enthält 210 M. und kostet bei den Mechanikern, doppelt mit Baumwolle besponnen, ungefähr 6,5 Mark, doppelt mit Seide besponnen, 11 Mark. Das halbe Klgr. des 0,75 Mm. dicken Drahtes enthält 165 M. und kostet, doppelt mit Baumwolle

Fig. 255.

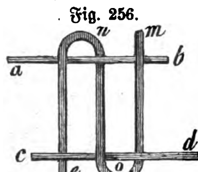


umsponnen, ungefähr 6 Mark, und doppelt mit Seide umsponnen, 10 Mark. Man wird 16 oder mehr M. Draht gebrauchen, je nachdem man eine oder mehrere Lagen von Windungen ausführt. Indem man eine 30 Cm. lange Strecke Draht frei hängen läßt, fängt man an dem einen Ende des Hufeisens an zu wickeln, wickelt fest und immer in derselben Richtung weiter. Die erste Windung wird mit einem Faden festgebunden, und jede folgende glatt und dicht neben die vorhergehende gelegt. Die Krümmung des Eisens wird nicht bewickelt, weil dort die Windungen wenig wirksam sind; sondern man geht von dem einen Arm des Eisens zum andern über und umwindet diesen in der Richtung, wie man es gethan haben würde, falls man auch die Krümmung bewickelt hätte, nur scheinbar in entgegengesetzter Richtung. Die letzte Windung wird festgebunden, eine 30 Cm. lange Drahtstrecke bleibt frei; beide Enden des Drahtes werden von der Umspinnung befreit. Will man den Eisenkern mit mehreren Lagen von Windungen umgeben, dann richte man es so ein, daß auf beiden Armen gleich viel Lagen angebracht werden, und daß die Zahl der Lagen auf jedem Arm eine ungerade sei; jeder Arm erhalte 3 oder 5 Lagen. Ist die erste Lage von Windungen vollendet, so legt man auf diese die zweite, indem man sie vom Beginn der Krümmung zu wickeln anfängt nnd bei dem einen Pol aufhört. Auf die zweite Lage legt man die dritte, bei der die Reihenfolge der Windungen dieselbe ist, wie bei der ersten Lage. Der Uebergang zu dem andern Arm wird in der Nähe der Krümmung gemacht.

2. Vorübergehender Magnetismus eines Elektromagnets.

Versuch a. Bevor man den Elektromagnet gebraucht, vergesse man nicht, die freien Enden seines Drahtes, die mit den Schließungsdrähten der Kette in metallische Verbindung gesetzt werden sollen, blank zu schaben. Gewöhnlich stellt man diese Verbindung durch kleine kupferne oder messingene Klemmschrauben oder Polschrauben, ähnlich den an der Grove'schen Kette Fig. 247 gezeichneten, her, die für 60—75 Pfennige zu haben sind. In Ermangelung derselben biege man einen Messingdraht enom zweimal nach Fig. 256 um und schiebe zwischen seinen federnden Theilen die zu verbindenden blanken Kupferdrähte ab und cd hindurch.

Fig. 256.



Diese Drahtklemme genügt in vielen Fällen. Stellt man aber Versuche über ziemlich schwache Ströme an, wie z. B. in §. 230, so kann man sich die Klemmschraube für Drähte auf folgende Weise anfertigen. Man bildet aus den Enden der an einander zu befestigenden Drähte kleine Ringe. Dann nimmt man ein Holzklötzchen und bohrt in dasselbe ein Loch, in welches eine Holzschraube eingeschraubt werden soll. Auf das Klötzchen legt man ein in der Mitte durchbohrtes, blankes Stück Messingblech, das wenig größer ist, als einer der Ringe. Auf das Blech legt man den Ring des einen Drahtes, auf diesen den des zweiten und auf diesen wieder ein durchbohrtes Stück Messingblech, schiebt eine Holzschraube

durch die Bleche und Ringe und schraubt sie mit einem Schraubenzieher fest in das Holz. Soll diese Klemmschraube nahe bei einer Magnetnadel Anwendung finden, so muß sie aus Messing bestehen; in andern Fällen kann eine eiserne Holzschraube genommen werden.

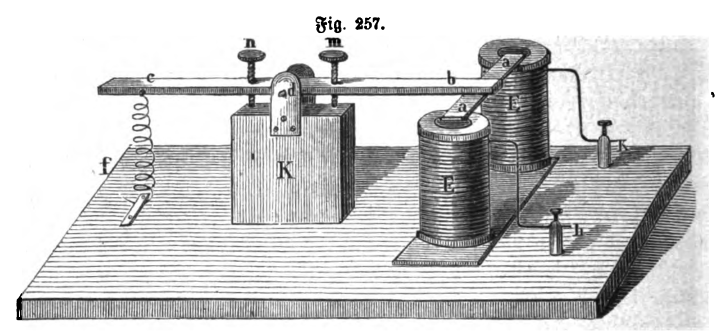
Der Elektromagnet liege auf einer Unterlage wagerecht oder sei lothrecht aufgehängt; das eine Drahtende des Elektromagnets ist mittels der Klemme mit dem einen Schließungsdraht der galvanischen Kette gutleitend verbunden. Noch ist der Elektromagnet völlig unmagnetisch, und ein Schlüssel, den man als Anker an seine Pole hält, wird nicht von ihm festgehalten; das Eisen wird noch nicht von dem galvanischen Strome umflossen; denn die Leitung führt zwar von der Kohle durch ihren Schließungsdraht und durch die Windungen des Elektromagnets bis zu seinem anderen Drahtende, aber nicht weiter. Damit ein galvanischer Strom entsteht, müssen die beiden Elektricitäten, die positive der Kohle und die negative des Zinks, einen ununterbrochenen Weg über leitende Körper finden, und die Leitung darf an keiner Stelle unterbrochen sein oder eine Lücke haben. Hier liegt die Unterbrechungsstelle der Leitung zwischen dem einen Drahtende des Elektromagnets und dem vom Zink kommenden Schließungsdrahte. Man drücke diese beiden Drähte aneinander und halte mit der einen Hand einen Schlüssel dicht vor die Pole des Elektromagnets; er wird denselben anziehen und ziemlich fest halten. Der Eisenkern ist durch die ihn umströmende Elektricität ein Magnet geworden. Denn der galvanische Strom findet jetzt eine ununterbrochene Leitung; von der Kohle ausgehend, tritt er bei der Klemme in den um den Eisenkern gewundenen Kupferdraht, durchläuft alle Windungen, umkreist dabei fortwährend das Eisen und geht an der von der Hand gehaltenen Berührungsstelle auf den anderen Schließungsdraht über, um so zum Zink zu gelangen.

Versuch b. Man lasse die Hand los, welche die Drähte aneinander drückte; dadurch wird die Leitung unterbrochen; der Strom, der bis dahin ohne Unterbrechung den Eisenkern umströmt hatte, hört auf, und der als Anker dienende Schlüssel fällt ab. Hält man ihn wieder an die Pole des Elektromagnets, so wird er nicht festgehalten; ist der Eisenkern recht weich und rein, so zeigt er fast keine Spur von Magnetismus.

Versuch c. Um den vorübergehenden Magnetismus eines Elektromagnets zu zeigen, dient folgende Vorrichtung, Fig. 257. Ein Elektromagnet E wird so auf ein Brett geschraubt, daß seine Pole nach oben gekehrt sind. Dann wird oben über einem lothrecht aufgestellten Klötzchen K ein Hebel bc mit zwei Armen angebracht und im Punkt d unterstützt. Sein linkes Ende c zieht eine aus Messingdraht gewundene Spiralfeder f abwärts; sein rechtes Ende b trägt genau über den Polen des Elektromagnets einen eisernen Anker a. Zwei durch den hölzernen Hebel gezogene Schrauben n und m dienen dazu, die Bewegung des Hebels zu begrenzen; die Schraube m läßt nicht eine völlige Berührung zwischen Anker und Elektromagnet zu, und die Schraube n hindert eine zu weite Entfernung des Ankers vom Elektromagnet. Nach zweckmäßiger Stellung der Schrauben werde der Strom durch die Windungen des Elektromagnets

geleitet, er zieht den Anker an. Der Strom werde unterbrochen. Der Anker wird losgelassen und durch die Feder f von den Polen entfernt.

Fig. 257.



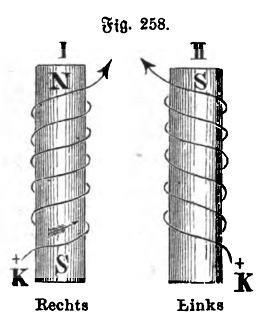
Gesetz: Das weiche Eisen ist nur so lange magnetisch, als es vom galvanischen Strom umflossen wird.

Der Magnetismus eines Elektromagnets ist daher nicht permanent oder bleibend, wie der eines Stahlmagnets; sondern er ist temporär oder vorübergehend. In demselben Augenblicke, in welchem die Leitung oder der galvanische Strom unterbrochen wird, verliert das Eisen seinen Magnetismus, und in demselben Augenblicke, wo der Strom wieder hergestellt wird und von Neuem die Windungen zu durchfließen beginnt, erhält es wieder magnetische Kraft. Dadurch ist es möglich, durch eine rasche Folge von Unterbrechungen und Wiederherstellungen des galvanischen Stromes in kurzer Zeit mehrere Mal nach einander den Elektromagnet magnetisch und wieder unmagnetisch zu machen. Die zur Unterbrechung des Stromes erfundenen Vorrichtungen heißen Stromunterbrecher, Disjunctoren oder Rheotome. (§. 219 d und 222. 2.)

§. 219. Die Vertauschung der Pole an einem Elektromagnet.

Versuch a. Während der galvanische Strom die Drahtwindungen des Elektromagnets umkreist, untersuche man mit einer darüber gehaltenen Magnetnadel (nach §. 134), welches sein Nordpol und welches sein Südpol ist. Dabei sehe man aber zu, ob man auch den Draht genau so gewunden hat, wie es in den Zeichnungen 254 und 255 dargestellt ist. In beiden ist der Draht nach rechts gewunden.

Fig. 258.



Rechts Links
gewunden.

Die nebenstehenden Figuren dienen, um den Unterschied eines rechts gewundenen Drahtes von dem links gewundenen hervorzuheben. Die mit I bezeichnete Figur stellt die eine Hälfte eines rechts gewundenen Elektromagnetendrahts dar; beim Umwickeln des Drahtes hat man die untere, mit S bezeichnete Stelle in der linken Hand und sieht, wenn man das zu umwindende Eisen wage-

recht hält, nach dem mit N bezeichneten Ende; wird bei dieser Haltung die erste Windung über dem Eisen nach rechts ausgeführt, so ist der Draht ein rechts gewundener. Der Draht in der Zeichnung II, dessen erste Windung über dem Eisenkern sofort nach der linken Seite gerichtet ist, ist nach links gewunden.

Hat man sich überzeugt, daß der Draht, den man um den Elektromagnet gewickelt hat, ein rechts gewundener ist, so wird man finden, daß die Magnetnadel ihren Nordpol demjenigen Pol des Elektromagnets zuwendet, an dem der positive Strom in die Windungen eintritt, in §. 218 a dem Pol, dessen Drahtende zu einer Klemme gebogen ist. Dort liegt demnach, da ungleichnamige Pole einander anziehen, der Südpol des Elektromagnets.

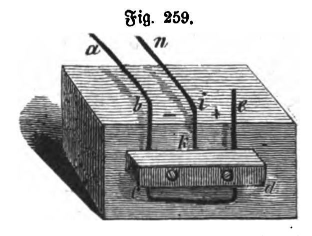
Versuch b. Nun wende man den liegenden Elektromagnet um, so daß die untere Seite nach oben gekehrt ist, und halte das zur Klemme gebogene Drahtende in §. 218 a an den vom Zink kommenden Schließungsdraht, das andere Drahtende an den positiven Schließungsdraht. Der positive Strom tritt jetzt da in die Windungen ein, wo vorher der Nordpol lag. Die Magnetnadel zeigt an, daß dieser Pol nunmehr ein Südpol geworden ist.

Denkt man sich in der ersten unteren Windung in Figur. 258 I nach dem Ampere'schen Gesetz die kleine menschliche Hülfsfigur, so schwimmt sie, um die Magnetnadel ansehen zu können, auf dem Rücken, und ihre linke, südmagnetische Seite liegt an der mit S bezeichneten Stelle. Dasselbe gilt von allen übrigen Windungen; ihre südmagnetische Kraft ist nach S gerichtet, und ihr Zusammenwirken macht dies Ende zu einem Südpol, das andere zu einem Nordpol.

> **Gesetz:** Bei einem rechts gewundenen Drahte liegt der Südpol an der Eintrittsstelle des positiven Stromes.

Bei einem links gewundenen Drahte liegt der Südpol da, wo der positive Strom aus den Windungen austritt, und an der Eintrittsstelle des positiven Stromes entsteht ein Nordpol. Leicht kann man aber den positiven Strom bald an dem einen, bald an dem anderen Drahtende eintreten lassen, den Pol, der früher ein Nordpol war, in einen Südpol verwandeln und so die Pole vertauschen.

Fig. 259.

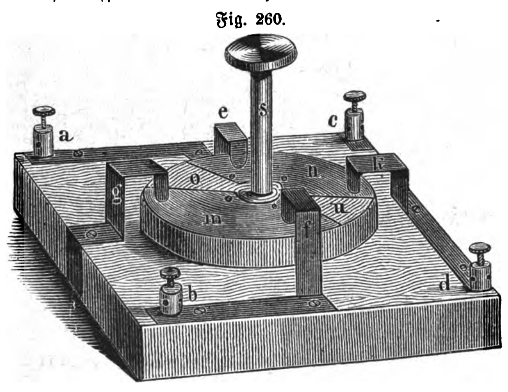


Versuch c. Die unbesponnenen Drahtenden des Elektromagnets ab und ni biege man zuerst wagerecht; dann führe man beide lothrecht abwärts. Der von dem Pole n kommende Draht erhält dadurch die Form nik; der von dem anderen Pole a kommende Draht abc aber wird noch zweimal rechtwinklig umgebogen, so daß er die Form abcde erhält. Beide Drahtenden werden so, wie die Zeichnung zeigt, mittels eines Holzstabes an ein hölzernes Klötzchen befestigt. Man legt nun die

Schließungsdrähte der Kette auf das Klötzchen, den negativen Schließungsdraht zwischen b und i, den positiven zwischen i und e. Schiebt man beide Schließungsdrähte nach links, und drückt man den negativen Schließungsdraht gegen das Drahtstück b, den positiven gegen das Drahtstück i, so gelangt der negative Strom nach a, der positive nach n. Ist der Elektromagnet nach rechts umwunden, so liegt jetzt bei n sein Südpol, und bei a sein Nordpol. Nun schiebe man beide Schließungsdrähte nach rechts und drücke den positiven Draht gegen das Drahtstück e, den negativen gegen das Drahtstück i. Dann gelangt der positive Strom über e, d, c und b nach a; bei a liegt deshalb nunmehr der Südpol des Elektromagnets. Weil der negative Strom nach n gelangt, liegt jetzt bei n der Nordpol des Elektromagnets. So kann man durch Hin- und Herschieben der Schließungsdrähte und den dadurch bewirkten Wechsel in der Leitung des Stromes die Pole des Elektromagnets beliebig oft vertauschen, wobei man sich durch eine darüber gehängte Magnetnadel von der Vertauschung der Pole überzeugt. Die zur Vertauschung der Pole an einem Elektromagnet dienenden Vorrichtungen heißen Stromwechsler oder Commutatoren.

Versuch d. Ein Stromwechsler hat folgende Einrichtung. Ein Brett, dessen obere Fläche ein Quadrat von 10 Cm. Seitenlänge bildet, trägt in seinem Mittelpunkt einen lothrecht aufgestellten, in der Zeichnung nicht sichtbaren, runden Eisenstab. Um denselben läßt sich eine wagerechte hölzerne Kreisscheibe drehen, welche kleiner, als das viereckige Grundbrett, und in der Mitte durchbohrt ist. Auf diese Kreisscheibe sind, einander gegenüber, zwei Kupferbleche m und n geschraubt;

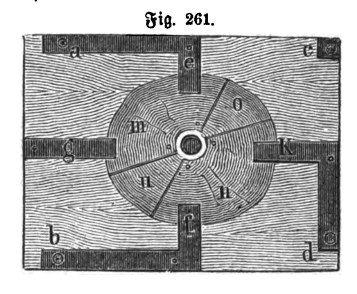
Fig. 260.



sie sind etwas größer, als der vierte Theil des Kreises, und berühren sich nirgends. Auf jedes der Kupferbleche drücken zwei Messingfedern, auf das Blech n die Federn e und k, auf das Blech m die Federn f und g; die Federn sind oben auf das Grundbrett geschraubt, in der Mitte der Seiten desselben, und sind durch Messingstreifen in leitender Verbindung mit vier Klemmschrauben, die in den Ecken des Grundbrettes aufgestellt sind. Die Klemmschraube a steht in Verbindung mit der Messingfeder e; die Klemmschraube d in Verbindung mit der Feder k; die Schraube b ist metallisch verbunden mit der Feder f, und von der Klemmschraube c führt ein Messingstreifen oder Kupferdraht unterhalb des Grundbrettes zu der Feder g. Die Schließungsdrähte der galvanischen Kette werden in die Klemmschrauben a und b eingeschraubt, die Draht-

enden des Elektromagnets in die Klemmschrauben c und d. Bei der zuerst gezeichneten Stellung des Commutators geht der positive Strom, wenn er bei a eintritt, zur Feder e, über das Kupferblech n zur Feder k und der Klemmschraube d und tritt bei d in den Elektromagnet ein. Der negative Strom gelangt von der Klemmschraube b zur Feder f und mittels des Kupferbleches m zur Feder g und der Klemmschraube c. Dreht man nun mittels des Knopfes s die bewegliche Kreisscheibe um den vierten Theil eines Kreises, so erhält dieselbe die in der nächsten Figur gezeichnete Stellung. Bei dieser Stellung nimmt der positive Strom seinen Weg von der Klemmschraube a über die Feder e, das Kupferblech m und die Feder g zur Schraube c und tritt hier, wo vorher der negative Strom zu dem Elektromagnet gelangte, in dessen Drahtwindungen ein. Dagegen geht der negative Strom jetzt von b über f, n, k nach d. Mithin ist die Richtung des Stromes jetzt die entgegengesetzte. Stellt man die bewegliche Kreisscheibe so, daß zwei Federn über den Holzflächen o und u schweben, so ist der Strom unterbrochen; die Vorrichtung ist daher zugleich ein Stromunterbrecher.

Fig. 261.



Versuch e. Eine Magnetnadel hänge man nach der in §. 151 angegebenen Weise auf, stelle ihren Träger auf den Elektromagnet und schiebe die Nadel so weit hinab, daß sie in der Mitte zwischen seinen Polen lothrecht hängt. Durch Herstellen und Unterbrechen des Stromes hat man es jetzt in seiner Gewalt, die Nadel sich beliebig oft nach der einen Seite bewegen zu lassen; durch Vertauschung der Pole nöthigt man sie, nach der anderen Seite auszuschlagen. Bei der in Versuch c zuerst bezeichneten Verbindung der Drähte wird der Nordpol der Nadel sich nach der einen Seite bewegen; entfernt man den einen Schließungsdraht, so kehrt sie in die lothrechte Stellung zurück und bewegt sich bei der Herstellung der Leitung nach derselben Seite. Drückt man dagegen die Schließungsdrähte der Kette an die Drähte i und e, so bewegt sich der Nordpol der Nadel nach der anderen Seite. Schraubte man an die Enden des Elektromagnets längere Drähte, die bis zu der entfernter aufgestellten Kette führten und hier nach Fig. 259 gebogen wären, so hätte man eine einfache telegraphische Vorrichtung, mittels deren man von der Kette aus telegraphiren und dieselben Zeichen durch Bewegungen nach rechts und links geben könnte, welche bei den Nadeltelegraphen §. 221 in Gebrauch sind.

§. 220. Optische und elektrische Telegraphie.

Die wichtigste Anwendung des Elektromagnetismus ist die elektrische Telegraphie.

1. Im Alterthum pflegte man auf den Gipfeln der Berge Signal-

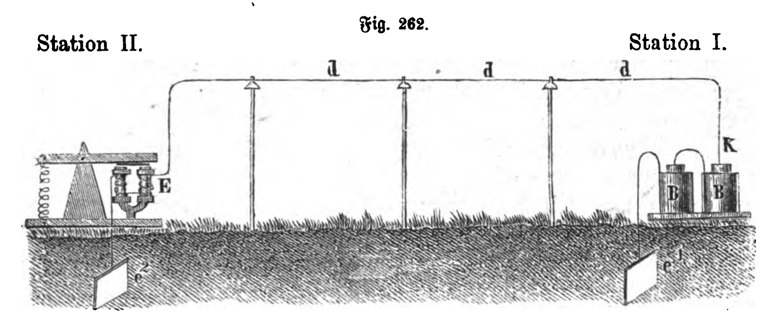
feuer anzuzünden, wenn es galt, die umliegenden Ortschaften unter die Waffen zu rufen oder ihnen das Eintreffen eines längst erwarteten Ereignisses eiligst mitzutheilen. Aus dieser einfachen Weise der Mittheilung durch sichtbare Signale entwickelte sich die Fackeltelegraphie der alten Griechen. Auf jeder Station hatte man eine Anzahl brennender Fackeln in Bereitschaft, welche bis zum Beginnen des Telegraphirens durch eine 2 M. hohe Wand dem Auge des Beobachters verdeckt waren. Man telegraphirte nach einander die einzelnen Buchstaben, aus denen das gemeinte Wort zusammenzusetzen war, und hatte zu diesem Behuf das Alphabet in drei Gruppen getheilt, von denen die erste die acht ersten, die zweite die folgenden acht, und die letzte die acht letzten Buchstaben der Reihe nach umfaßte. War nun ein Buchstabe aus der zweiten Gruppe gemeint, so hob man zuerst zwei brennende Fackeln über die Wand empor, und war der fünfte Buchstabe dieser Gruppe zu telegraphiren, so hielt man zum Zweiten fünf Fackeln hoch. Die erste Anzahl der Fackeln zeigte die Buchstabengruppe an, und die zweite, der wie vielte Buchstabe in dieser Gruppe zu nehmen war. Erst durch Anwendung des Fernrohrs konnte die optische Telegraphie vervollkommnet werden. Schon während seines Aufenthaltes im Seminar zu Angers erfand der französische Ingenieur Claude Chappe folgende Einrichtung, um mit seinen zwei Brüdern, die sich in einem eine halbe Stunde entfernten Pensionat aufhielten, zu correspondiren. An die Enden eines drehbaren Lineals befestigte er zwei kleinere Lineale, die sich willkürlich bewegen ließen; aus den Stellungen der drei Lineale, die wagerecht, lothrecht, nach rechts oder links schräg auf- oder absteigend gewählt werden konnten, bildete er 196 Signale, die sich durch ein Fernrohr leicht erkennen ließen, und über deren Bedeutung er sich mit seinen Brüdern verabredete. Die Erfindung wurde 1792 dem Nationalkonvent vorgelegt, gebilligt, und alsbald die erste größere Telegraphenlinie von Paris bis Lille vollendet; die erste Depesche lautete: „Die Wiedereinnahme von Condé“, und der Convent ließ darauf antworten: „Die Nordarmee hat sich um das Vaterland sehr verdient gemacht.“ Nach dem Muster des französischen wurden die optischen Telegraphen anderer Länder eingerichtet; doch zur Zeit eines Nebels, Regens, Schneefalls oder bei eintretender Dunkelheit waren sie außer Stande, zu arbeiten und sind überall durch die elektrischen Telegraphen verdrängt worden.

2. Gauß und Weber zu Göttingen haben im Jahre 1833 den ersten elektrischen Telegraphen ausgeführt. Die elektrische Telegraphie beruht darauf, daß man durch eine galvanische Batterie einen viele Kilometer entfernten Elektromagnet oder Multiplicator magnetisch oder unmagnetisch, südmagnetisch oder nordmagnetisch machen kann, wenn man eine Leitung einrichtet, durch welche der Strom der Batterie zu dem Elektromagnet gelangen kann. Vermöge seiner außerordentlichen Geschwindigkeit (§. 183), die für Galvanismus und Kupferdraht zu 24000 Meilen (oder 180000 Kilometer), für 4 Mm. dicken Eisendraht zu 13000 Meilen (oder 100000 Kilometer) in der Sekunde, anzunehmen ist, durchläuft der elektrische Strom den meilenlangen Weg mit Blitzes-

schnelle. Eine Herstellung des Stromes bewirkt daher in demselben Augenblick, daß der Elektromagnet auf der anderen Station einen Anker oder eine Magnetnadel anzieht, und eine Unterbrechung des Stromes hat zur Folge, daß er sie eben so schnell wieder losläßt.

Die Hauptkosten bei der Einrichtung eines elektrischen Telegraphen verursacht die **Drahtleitung**, da man dazu Kupferdraht nimmt oder, wenn man das schlechter leitende Eisen wählt, einen dickeren Draht verwenden muß; man würde also zweier Drähte bedürfen, von denen der eine nach der anderen Station hinführte, und der zweite zurückleitete. Nun stellte Steinheil im Jahre 1837 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn Versuche an, um zu ermitteln, ob es vielleicht möglich wäre, die beiden Geleise einer Eisenbahn als Leitung für den galvanischen Strom zu benutzen; dabei machte er die Entdeckung, daß nicht zwei Drahtleitungen von dem einen Orte nach dem anderen nothwendig sind, sondern, daß eine Drahtleitung und die Ableitung der Elektricitäten in den feuchten Erdboden für das Telegraphiren ausreicht. Man löthet an den einen Schließungsdraht der Batterie und auf der anderen Station an das Drahtende des Elektromagnets große Kupferplatten und senkt diese in den Erdboden bis zum Wasserstande der Orte ein. Der feuchte Erdboden dient als Ableitung für die beiden Elektricitäten der Batterie, so daß dieselbe in Thätigkeit bleibt und anhaltend elektrische Ströme liefert, nicht anders, als wäre eine zweite Drahtleitung vorhanden. Um von der Station I nach der Station II zu telegraphiren, führt man von dem Kupfer der in I stehenden Batterie einen von Stangen getragenen Draht nach der zweiten Station und schraubt ihn an die Windungen des dort aufgestellten Elektromagnets. Der positive Strom durchläuft die Windungen, tritt aus ihnen aus und gelangt durch einen angeschraubten Draht zu der in die Erde vergrabenen Kupferplatte, der Erdplatte e^2. Gleichzeitig fließt auf der ersten Station die negative Elektricität der Batterie über die Erdplatte e^1 in den Erdboden ab. Statt der Erdplatten nimmt man auch lange, dicke Eisenstangen.

Fig. 262.



Nach Steinheil's Entdeckung wird folglich nur ein einziger Draht als Leitung erfordert und entweder auf hölzernen Stangen über der Erde ausgespannt oder, gut isolirt, in den Erdboden gelegt. Für die Leitung

über der Erde verwendet man in Deutschland Eisendraht, der billiger und fester ist, als Kupferdraht; der Durchmesser des Eisendrahts beträgt 3 bis 6 Mm.; die dünnste Sorte wird verzinkt und kommt da zur Anwendung, wo das große Gewicht des stärkeren Drahtes hinderlich werden würde. Der Draht wird von den Telegraphenstangen getragen; dieselben sind aus Kiefern- oder Tannenholz und werden, damit ihre Dauer eine längere sei, mit Kupfervitriol oder Zinkchlorid oder creosothaltigem Theeröl getränkt. Die Höhe der Stangen beträgt 7 bis 10 M.; ihre gegenseitige Entfernung richtet sich nach den Bodenverhältnissen und schwankt zwischen 40 und 75 M.; ihre Dauer wird auf 15 Jahre geschätzt. In Amerika und in der Schweiz werden häufig lebende Bäume als Träger der Drahtleitung benutzt. An das obere Ende der Telegraphenstangen werden, um den Draht zu isoliren, kuppelartige Porzellanglocken befestigt; oben haben die Glocken eine Vertiefung, in welche der Draht gelegt und mit Blei festgegossen wird.

Soll die Drahtleitung in den Erdboden gelegt oder durch Wasser geführt werden, so umgiebt man die Leitungsdrähte mit einer doppelten Umhüllung, mit einer isolirenden und einer diese schützenden. Die isolirende Umhüllung der einzelnen Drähte besteht aus Guttapercha und einer Umwickelung mit getheertem Hanf. Die schützende Hülle bilden bei kleinen Strecken gußeiserne Röhren; bei größeren, bei denen die Leitung für die Handhabung sich biegen lassen muß, besteht sie aus einem fest anliegenden Geflecht von Eisendraht, der mit Zink überzogen ist. Eine solche Drahtleitung mit ihrer doppelten Umhüllung, welche auf den Grund des Wassers versenkt wird, nennt man **das Kabel** des eletrischen Telegraphen. Das Bedürfniß einer Verbindung zwischen dem Festlande und England ließ den ersten unterseeischen Telegraphen zwischen Dover und Calais entstehen; nach mehreren mißlungenen Versuchen ist derselbe seit dem Jahre 1851 in Thätigkeit. Nach dieser ersten Linie wurden vier angelegt, eine von Dover nach Ostende in Belgien, eine zweite von Oxfordneß nach Scheveningen in Holland, die dritte von England nach Emden in Hannover, die vierte von England nach Irland. Ein unterseeischer Telegraph setzt ferner Frankreich mit seinen Besitzungen in Afrika in Verbindung; die Leitung führt von Spezzia über Corsica und Sardinien nach Bona an der afrikanischen Küste und von da zu Lande nach Algier. Alle diese Unternehmungen wurden durch die Legung des Telegraphenkabels zwischen Europa und Amerika übertroffen. Von Irland nach Newfoundland durch den breiten atlantischen Ocean eine Drahtleitung zu führen, hatte man seit dem Jahre 1857 dreimal vergeblich versucht; erst nachdem man Millionen eingebüßt hatte, gelang die Legung des Kabels im Jahre 1866. Das erste Kabel riß zu wiederholten Malen; die Legung des zweiten Kabels im Jahre 1858 schien gelungen zu sein, zwischen Europa und Amerika wurden durch das auf dem Meeresboden ruhende Kabel Depeschen gewechselt; aber von Tage zu Tage wurden die Depeschen undeutlicher, und nach kaum einem Monat versagte das Kabel seinen Dienst, ein Beweis davon, daß es Verletzungen erlitten hatte. 1865 war das

größte aller Schiffe, der Great-Eastern, zur Legung eines neuen Kabels gewählt worden und hatte von demselben drei Viertel gelegt; da riß auch dies Kabel, und fruchtlos fielen die Versuche aus, das Ende des Kabels aus der Tiefe emporzuholen. Das neue Kabel, das nun angefertigt wurde, enthält inwendig sieben Leitungsdrähte aus Kupfer, welche mit vier Lagen von Guttapercha umgeben sind; die Guttaperchahülle ist mit zehn Eisendrähten umsponnen, deren jeder mit Hanf bewickelt ist. Außer dem Great-Eastern, der das Hauptkabel in drei mit Wasser gefüllten Kübeln von 18. M. Durchmesser aufgerollt trug, waren noch zwei Schraubendampfschiffe bei der Legung thätig, besonders bei der Anbringung der kürzeren Uferkabel, an welche das Hauptkabel leitend und sicher befestigt werden mußte. Während der ersten 5 Tage im Juli 1866 ging die Arbeit glücklich von Statten; dann aber verwickelte sich eine Stelle des Kabels und bildete mehrere Knoten, so daß ein Reißen desselben zu befürchten stand; doch glückte es, die Verwickelungen zu lösen, die verletzten Stellen auszubessern und die Arbeit ohne Unfall zu Ende zu führen. Am nächsten Morgen konnte ein Glückwunsch der Königin Victoria an den Präsidenten der Vereinigten Staaten Nordamerikas telegraphirt werden. Im nächsten Monat suchte die kleine Flotte das 1865 gesunkene Kabelende auf, brachte es, nachdem es wiederholt gerissen und von Neuem versunken war, mit vieler Mühe ans Licht, knüpfte ein neues Kabelstück an und vollendete so die zweite Leitung von Europa nach Amerika. Ein drittes atlantisches Kabel ist 1869 gelegt und führt von Brest in Frankreich nach Amerika. Jetzt sind 5 atlantische Kabel in Benutzung. Der europäisch-indische Telegraph, der von London über Berlin, durch Rußland, nach Tiflis und Teheran führt und in Verbindung mit den Drähten der englisch-ostindischen Compagnie steht, wurde 1870 dem Gebrauch übergeben. Im Jahre 1874 betrug die Gesammtlänge aller Telegraphenlinien der Erde 576000 Kilometer, die der Drähte 1681000 Kilometer.

Nach der Verschiedenheit ihrer Einrichtung sind fünf Arten elektrischer Telegraphen zu unterscheiden:

1. Nadeltelegraphen,
2. Schreibtelegraphen,
3. Typendrucktelegraphen,
4. Chemische Telegraphen und
5. Zeigertelegraphen.

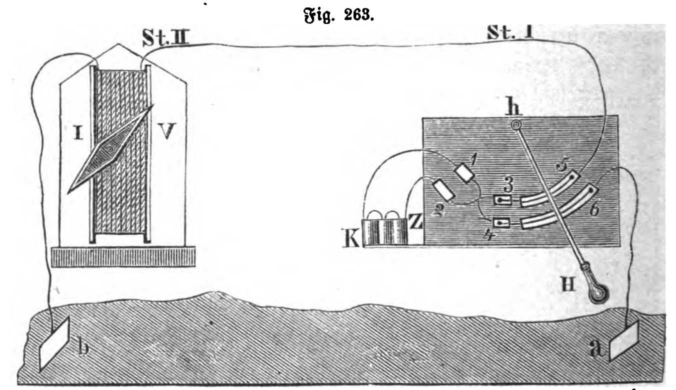
§. 221. Der elektromagnetische Nadeltelegraph.

1. Bei allen elektrischen Telegraphen sind zwei Vorrichtungen nöthig; die eine dient, um die Zeichen und Depeschen zu bringen, die von der andern Station aus telegraphirt werden, und heißt der Zeichenbringer oder Sprechapparat, auch Receptor; die andere Vorrichtung, der Zeichengeber, Versendungsapparat oder Manipulator, wird gebraucht, um für die andere Station Zeichen zu geben oder dorthin zu telegraphiren. Auf jeder Station sind beide Apparate vorhanden.

a. Der **Zeichenbringer** der Nadeltelegraphen, die auf den meisten Eisenbahnen Englands in Gebrauch sind, ist ein lothrecht aufgestellter **Multiplicator**, der mit einem 130 M. langen, feinen Draht umwunden ist. Innerhalb des Multiplicators hängt in lothrechter Stellung eine **Magnetnadel**, deren Axe durch seine Vorderseite zwischen den Windungen hindurch geführt ist und hier einen Zeiger oder eine zweite Magnetnadel (§. 216) in gleichfalls lothrechter Stellung trägt. Damit die Magnetnadel bei ihren Ausschlägen nach rechts oder links sich nicht zu weit bewege, sind auf beiden Seiten elfenbeinerne Ausfallsstifte angebracht.

b. Der **Zeichengeber**, den wir uns der Einfachheit wegen nur auf der andern Station I aufgestellt denken, ist ein **Commutator** (§. 219 c). In ein starkes Brett sind die mit 1, 2, 3, 4, 5 und 6 bezeichneten Messingplatten eingelassen. Sie bilden zwei mit einander gleichlaufende Bogen, die von einander durch Holz getrennt und mehrmals unterbrochen sind. Zwischen den Platten 5 und 3, 6 und 4 sind mit Holz ausgelegte Zwischenräume; keines dieser Messingstücke ist mit dem andern leitend verbunden. Nur von der Platte 1 führt ein unter der Oberfläche des Holzes hindurchgeleiteter Draht nach der Platte 4, und ebenso von der Platte 2 ein Draht nach der dritten Platte. Vor den im Bogen befestigten Messingplatten ist ein Hebel H angebracht, dessen Axe h im Mittelpunkt beider Bogen liegt; er ist von Holz und trägt zwei von einander getrennte, bogenförmige Federn, die nur mit ihren Enden die Messingplatten berühren und in der Zeichnung durch Linien angedeutet sind. Wird der Hebel nach rechts geschoben, so berühren die linken Enden seiner Federn die Platten 3 und 4; wird er nach links bewegt, so ruhen die linken Enden der Federn auf 1 und 2, berühren die Platten 3 und 4 nicht, wohl aber die Platten 5 und 6, mit denen die Federn in jeder Stellung in leitender Berührung sind.

Fig. 263.



Der Telegraphist schiebt, wenn die Magnetnadel auf der anderen Station II sich nach rechts bewegen soll, den Hebel seines Zeichengebers nach rechts, und ebenso nach links, um eine Bewegung der Magnetnadel nach links zu verursachen. Bei der gezeichneten Stellung nach der rechten Seite geht der positive Strom von dem Kupfer der Batterie nach der

Messingplatte 1 und mittels des verborgenen Drahtes nach 4; von hier bildet die untere Feder des Hebels die Leitung nach der sechsten Platte, an die ein Kupferdraht geschraubt ist, welcher mit der Erdplatte a endet. Der *positive* Strom ist also in das feuchte Erdreich abgeleitet. Der *negative* Strom dagegen geht vom Zink Z in der Batterie aus, tritt bei Platte 2 in den Commutator ein und gelangt über Platte 3, über die obere Feder des Hebels und die fünfte Messingplatte zu der Drahtleitung, die nach der andern Station II führt. Dort durchläuft er die Windungen des Multiplicators und findet eine Ableitung in die Erde durch die Erdplatte b. Für beide Elektricitäten ist daher die Ableitung in die Erde, und für die negative die Leitung durch den Draht hergestellt. Es erfolgt auf der zweiten Station eine Ablenkung der Multiplicatornadel nach der *rechten* Seite.

Dagegen werde der Hebel des Zeichengebers in Station I nach *links* geschoben, so daß die Enden seiner Federn auf den Platten 1 und 5, 2 und 6 ruhen. Dann nehmen die Ströme in ihrem ganzen Verlauf eine entgegengesetzte Richtung. Von K geht der *positive* Strom nach 1, aber nicht nach 4, weil von da aus die Leitung unterbrochen ist, sondern durch die obere Feder des Hebels nach der fünften Platte und mittels des Leitungsdrahtes nach der andern Station. Hier durchläuft der positive Strom die Windungen des Multiplicators, während vorher, bei der Stellung des Hebels zur Rechten, der negative Strom dorthin geleitet war; es erfolgt deshalb eine Ablenkung der Nadel nach der entgegengesetzten, *linken* Seite. Die positive Elektricität findet ihre Ableitung durch die

Fig. 264.

A	I		VI	P
B	II	I. V.	VII	Q
C	III		VIII	R
D	IIII		VIV	S
E	IV		VIIV	T
F	IIV		VIVI	U
G	IIIV		VVI	V
H	IVI		VVV	W
I	IVV		VVVI	X
K	IVVI		VIVV	Y
L	IIVI		VVIV	Z
M	IIVV			
N	IVVV			
O	IVIV			

Erdplatte b; die negative fließt über die zweite Platte, die untere Feder, die sechste Platte und die Erdplatte a in den Erdboden ab.

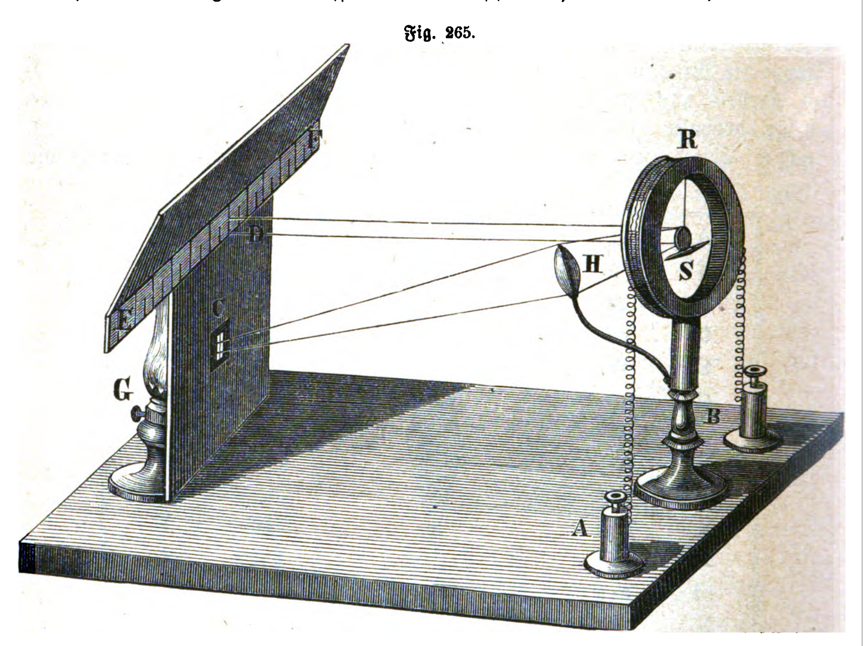
Bringt man endlich den Hebel in *lothrechte* Stellung, wobei seine

Federn mit den linken Enden zwischen den Platten 1 und 3, sowie 2 und 4, das Holz berühren, so findet der galvanische Strom gar keinen leitenden Weg nach der anderen Station, und die Multiplicatornadel hängt dort ebenfalls lothrecht.

Zu beiden Seiten der vorderen Nadel oder des Zeigers an dem Zeichenbringer stehen die Zeichen I und V; bei einer Bewegung nach links zeigt er auf I, bei einem Ausschlag nach rechts auf V. Aus beiden einfachen Zeichen werden alle Signale, welche Buchstaben bedeuten, zusammengesetzt. Das Alphabet ist in solcher Anordnung aufgestellt, daß alle links vom Zeiger befindlichen Buchstaben mit I, alle rechts stehenden mit V anfangen, und der Telegraphist gleich weiß, auf welcher Seite er den telegraphirten Buchstaben zu suchen hat. Die Tabelle zeigt, daß z. B. drei Ausschläge der Nadel nach links den Buchstaben C, ebenso viel nach rechts W bedeuten.

2. Die empfindlichsten Nadeltelegraphen sind diejenigen, welche mittels der atlantischen Kabel die Correspondenz zwischen Europa und Amerika besorgen. Ihr Zeichenbringer ist ein Spiegelgalvanometer und hat folgende Einrichtung. Ein kreisförmiger Rahmen R ist mit mehreren Tausend Windungen von besponnenem Kupferdraht umwunden; die Enden

Fig. 265.



A und B des Drahtes sind so in die Leitung eingeschaltet, daß jeder durch das Kabel gehende Strom die Drahtrolle durchläuft. In der Mitte der Rolle hängt an einem Coconfaden eine sehr leichte Magnetnadel, und oben an diese ist ein sehr kleiner Spiegel befestigt; beide zusammen wiegen noch kein Gramm. In ihrer Ruhelage befindet sich Nadel und

Spiegel in der Ebene der Drahtwindungen; geht ein Strom durch die Windungen, so bewegen sich die Nadeln und der Spiegel. Nun ist, 1 M. von dem Spiegel entfernt, ein Schirm mit einer Spalte C, und hinter derselben eine Lampe G aufgestellt, welche Lichtstrahlen nach dem Spiegel S sendet. Ehe dieselben den Spiegel erreichen, nehmen sie ihren Weg durch eine erhabene Linse H, so daß der Spiegel von einer scharfen Lichtlinie getroffen wird. Der Spiegel wirft das Licht nach einem über dem Schirm angebrachten Maßstab EF zurück; es erscheint, wenn kein Strom durch das Galvanometer geht, in der Mitte des Maßstabes eine helle Lichtlinie, der Lichtzeiger genannt, und ist in einem dunklen Raum leicht zu beobachten. Wird die Nadel etwas abgelenkt, so legt der Lichtzeiger auf dem Maßstabe einen weit größeren Weg zurück. Durch diese Einrichtung (§. 183) wird erreicht, daß die geringste Bewegung der Nadel für das Auge wahrnehmbar wird. Aus den Bewegungen des Lichtzeigers nach rechts oder links werden die Buchstabenzeichen zusammengesetzt; ein Ausschlag nach links kann den Strich des Morse'schen Alphabets, und ein Ausschlag nach rechts einen Punkt bedeuten. Siehe §. 222.

§. 222. Schreibtelegraphen, Typendrucktelegraphen und chemische Telegraphen.

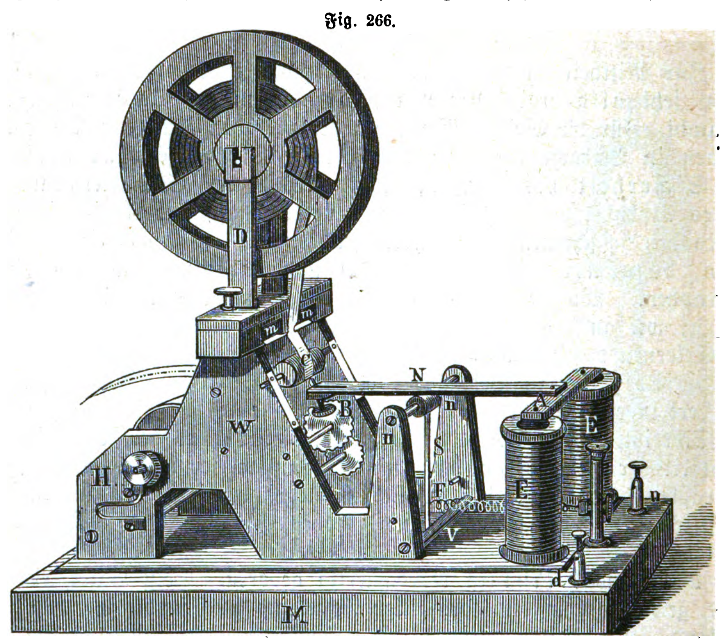
Zur Mittheilung von Staats- und Handelsnachrichten wird auf dem Lande jetzt allgemein der von Morse erfundene Schreibtelegraph gebraucht. Für die Wahl zwischen den verschiedenen Arten der Telegraphen kommen in Betracht die Bequemlichkeit, die Geschwindigkeit und die Sicherheit des Telegraphirens. Weil der Schreibtelegraph sein eigenes Alphabet hat, das erst erlernt werden muß, und ebenso die Nadeltelegraphen, so scheinen die Zeigertelegraphen, die das gewöhnliche Alphabet haben, bequemer. Privattelegraphen sind daher am häufigsten Zeigertelegraphen. Wo aber besondere Beamte zum Telegraphiren angestellt werden, wie an den Staatstelegraphen, da ist die Unbequemlichkeit, die das Erlernen des Alphabetes macht, bald überwunden. Ferner kommt die Geschwindigkeit in Betracht. Die Depesche zu 30 Worten gerechnet, befördert in einer Stunde ein Zeigertelegraph 6—8, ein Nadeltelegraph 15, der Schreibtelegraph 12—15 Depeschen. Hier fällt der Vergleich zum Nachtheil der Zeigertelegraphen und zu Gunsten der Nadel- und Schreibtelegraphen aus. Weil aber die Schreibtelegraphen sicherer sind und eine schriftliche Depesche hervorbringen, haben sie die weiteste Verbreitung erlangt.

Morse war 1791 in Nordamerika geboren. Sein Vater, ein Prediger, gewährte ihm eine sorgfältige Erziehung und sandte ihn 1811 nach England. Dort bildete sich Morse als Maler aus und that sich durch tüchtige Leistungen hervor. Im Jahre 1815 kehrte er nach Amerika zurück, ernährte sich durch Anfertigung von Porträts und stiftete zehn Jahre später einen Verein von Malern. Im Auftrage desselben begab er sich im Jahre 1829 nach Europa, um die Kunstwerke und Malerschulen Englands,

Italiens und Frankreichs kennen zu lernen. Die Entdeckungen auf dem Gebiete des Elektromagnetismus regten ihn mächtig an, und seit seiner Rückreise nach den Vereinigten Staaten im Jahre 1832 sann er darüber nach, wie die Eigenschaften des Elektromagnets für die Telegraphie benutzt werden könnten. Erst 1837 kam der von Morse erfundene Telegraph zu Stande und wurde in New-York öffentlich ausgestellt, fand aber anfänglich wenig Beifall, bis seine Einrichtung vervollkommnet wurde.

1. Der Zeichenbringer oder Schreibapparat (Fig. 266) des Morse'schen Telegraphen ist eine Vorrichtung zum Schreiben oder Einprägen der von der anderen Station gesandten Depeschen. Ein Elektromagnet E ist lothrecht, mit nach oben gerichteten Polen, aufgestellt; über diesen schwebt ein eiserner Anker A, getragen von dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels, des Schreibhebels, der an seinem anderen Ende einen Schreibstift B trägt. In der Nähe des Schreibstiftes sind zwei Walzen angebracht; die über dem Stift befindliche, in der Figur sichtbare Walze C ist über dem Schreibstift ringsum mit einer flachen Rinne versehen und der anderen Walze so nahe, daß sie durch Reibung einen 2 Cm. breiten Papierstreifen mit sich fortziehen, wenn sie sich drehen. Ihre gleichmäßige Bewegung wird durch ein Räderwerk hervorgebracht, das eine starke Uhr-

Fig. 266.



feder oder ein Gewicht treibt; der Papierstreifen wickelt sich von einer großen Rolle ab, und der Schreibstift ist aus dem härtesten Stahl gearbeitet, er stumpft nie ab und macht die Eindrücke in das Papier, ohne dasselbe zu zerreißen, scharf genug, um leicht erkannt zu werden. An den

Hebel, welcher den Schreibstift trägt, ist ein senkrecht abwärts führender Stab befestigt, und an diesen greift eine spiralförmig gewundene Feder F und sucht den Schreibstift vom Papier zu entfernen.

Der Schreibstift macht nur zweierlei Zeichen, *Punkte* und *Striche*. Sobald nämlich ein galvanischer Strom nur auf *einen Augenblick* die Drahtwindungen des Elektromagnets E durchläuft, wird auf einen Augenblick der Anker A angezogen, der Schreibstift geht in die Höhe und drückt in den Papierstreifen einen *Punkt*; er ist nicht länger mit dem Papier in Berührung, weil sogleich der Elektromagnet seine anziehende Kraft verliert, und die Feder F den Hebelarm mit dem Schreibstift niederzieht. Dauert der Strom länger, so drückt der Schreibstift länger auf das sich bewegende Papier und zeichnet darauf einen *Strich*. Wird aber der Strom eine Weile *unterbrochen*, so entsteht eine *Lücke* zwischen den Eindrücken auf dem Papier. Die auf dem Papierband entstehenden Punkte und Striche stellen sich bei der ursprünglichen Einrichtung des Schreibapparates, welche man als Reliefschreiber bezeichnet, als farblose Vertiefungen dar; das Erkennen derselben greift, besonders bei künstlicher Beleuchtung, die Augen der Beamten in hohem Maße an. Deshalb sind statt der früheren Reliefschreiber *Farbschreiber* (Blauschreiber) eingeführt. Der Schreibhebel AB trägt an Stelle des Schreibstiftes B ein Rädchen, das auf seinem Umfang sehr schmal ist und in ein kleines Gefäß mit Farbe taucht. Indem das kleine Rad sich dreht, erhält sein Umfang beständig genug Farbe, und indem es durch den Schreibhebel gehoben und gegen das Papier gedrückt wird, entstehen auf dem Papier farbige Punkte und Striche.

Fig. 267.

A .—	N —.
B —...	O ———
C —.—.	P .——.
D —..	Q ——.—
E .	R .—.
F ..—.	S ...
G ——.	T —
H	U ..—
I ..	V ...—
K —.—	W .——
L .—..	X —..—
M ——	Y —.——
	Z ——..

Das *Alphabet* für den Morse'schen Telegraphen muß aus Punkten und Strichen zusammengestellt sein; den am häufigsten wiederkehrenden

Buchstaben E hat man mit einem Punkt, das T mit einer Linie, die übrigen durch Zusammenstellung von beiden in folgender Weise bezeichnet:

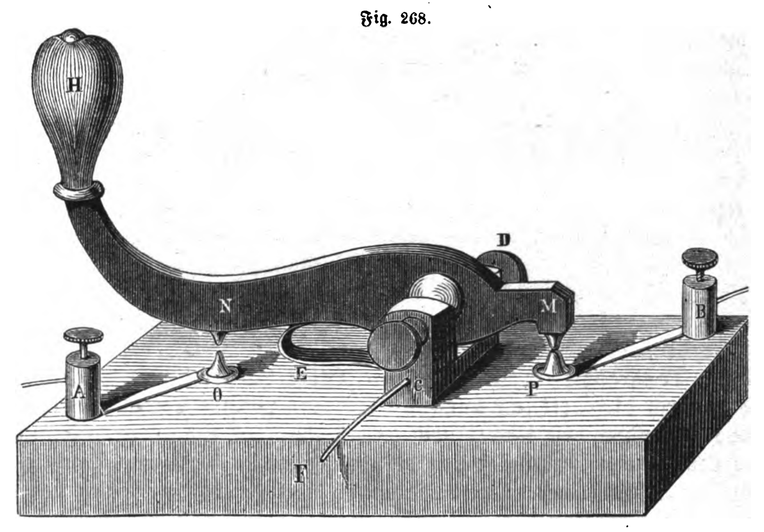
Die Bezeichnung einer Ziffer besteht aus fünf Zeichen; für die ersten fünf Ziffern giebt die Zahl der Punkte die Zahl der Einheiten an; für die 5 letzten (0 als 10 angesehen) giebt die doppelte Anzahl der Striche mit Hinzurechnung der darauf folgenden Punkte die Zahl der Einheiten an. Daher ist die Bezeichnung für 1 ·————, 2 ··———, 3 ···——, 4 ····—, 5 ·····; 6 —····, 7 ——···, 8 ———··, 9 ————·, 0 ————— Die Bezeichnung der Interpunktionszeichen besteht aus sechs Zeichen. Punkt ······, Semikolon —·—·—·, Komma ·—·—·—, Colon ———···, Fragezeichen ··——··, Ausrufungszeichen ——··——, Bindestriche —····— Oft wiederkehrende Ausdrücke werden durch Buchstabenbezeichnungen, entweder einfache oder wiederholte, bezeichnet, z. B. Staatsdepesche S···, Bahnbetriebsdepesche B —···, Privatdepesche P ·——·, Aufruf —·—·—, Schluß ·—·—· Ein Strich nimmt dreimal so viel Raum ein, als ein Punkt; der Zwischenraum zwischen Strichen und Punkten in einem Buchstaben ist so groß, als der Raum eines Punktes. Jede einen Buchstaben bildende Zeichengruppe ist von der andern um die Länge eines Strichs entfernt. Der Zwischenraum zwischen zwei Wörtern muß wenigstens dem Raume von 4 Punkten gleich sein.

Für geheime telegraphische Correspondenz hat sich folgendes Verfahren bewährt. Alle Wörter werden durch Zahlen ausgedrückt. Es wird ein Wörterbuch angefertigt, welches alle vermuthlich in den Depeschen vorkommenden Wörter in alphabetischer Reihenfolge enthält und hinter jedem Worte die Zahl angiebt, durch welche dasselbe ausgedrückt werden soll. Nur der Absender und der Empfänger der Depeschen sind im Besitz dieses Wörterbuchs. Um aber das Entziffern der geheimen Correspondenz noch schwerer zu machen, wird der Schlüssel angewandt; der Schlüssel ist eine beliebige Zahl, z. B. 263, welche der Absender zu allen Zahlen des Wörterbuchs addirt; der Empfänger muß von allen telegraphirten Zahlen den Schlüssel abziehen, bevor er sie mit Hülfe des Wörterbuches entziffert und in Wörter überträgt.

2. Der Zeichengeber des Morse'schen Telegraphen wird der Schlüssel oder Taster genannt und ist nichts anderes, als ein Stromunterbrecher. Fig. 268. Ein aus Messing gearbeiteter Hebel von der Gestalt einer Thürklinke wird von metallenen Ständern C getragen und durch eine unter seinem Griff angebrachte Feder E emporgedrückt, soweit es von dem zur Rechten befindlichen Säulchen P zugelassen wird. Unter dem Hebel ist ein Messingsäulchen O, der Amboß, in das Holz eingesetzt, und an ihn der von dem Kupfer der Batterie kommende Schließungsdraht geschraubt, während der andere Schließungsdraht an die Erdplatte gelöthet ist. Die Drahtleitung nach der anderen Station II steht mit dem Träger C des Hebels in metallischer Verbindung und ist an die Windungen des in der zweiten Station aufgestellten Elektromagnets geschraubt, deren anderes Drahtende mit der Erdplatte leitend verbunden ist. Bei der ge-

zeichneten Stellung des Schlüssels kann der eine von der Batterie kommende Strom nicht weiter, als bis zum Amboß, gelangen. Wäre die Unterbrechungsstelle zwischen Hebel und Amboß nicht, so würde der Strom auf den metallenen Hebel N, die Tragsäule C und den Leitungsdraht

Fig. 268.



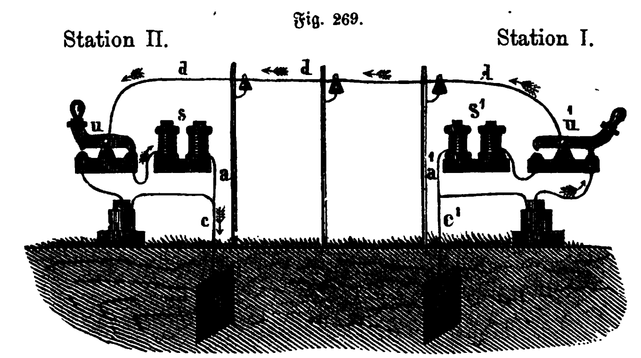
übergehen, auf der zweiten Station den Elektromagnet umkreisen und über die Erdplatte abfließen, während auch der andere Strom der Batterie zur Erde abgeleitet wird. Somit wird durch Niederdrücken des Schlüssels Leitung und Ableitung hergestellt.

Soll von Station I eine Depesche abgehen, so drückt daselbst der Telegraphist mehrere Mal schnell hinter einander den Schlüssel nieder; dadurch wird der Strom eben so oft geschlossen und unterbrochen; der Anker in dem Schreibapparat S auf der anderen Station II geht mit dem Hebel schnell auf und ab und bewirkt durch Anschlagen auf den Elektromagnet ein Hämmern, das als Signal für den Anfang des Telegraphirens dient. Der dortige Telegraphist zieht einen Stift aus dem Räderwerk, die Walzen drehen sich und bewegen mit mäßiger Geschwindigkeit den Papierstreifen, der die Eindrücke des Schreibstiftes aufnehmen soll. Diese werden von Station I aus durch Niederdrücken des Schlüssels gegeben, indem man denselben bald nur einen Augenblick, bald etwas längere Zeit niedergedrückt erhält, je nachdem ein Punkt oder eine Linie zu schreiben ist. Läßt man den Schlüssel offen, so entsteht zwischen den Eindrücken auf dem Papier eine Lücke, die, wenn sie klein ist, das Ende eines Buchstabens, wenn sie größer ist, das eines Wortes anzeigt.

Um von jeder Station aus telegraphiren und auf jeder Depeschen empfangen zu können, ist jede mit einer Batterie, dem Schlüssel und dem Schreibapparat ausgerüstet. Fig. 269 zeigt zwei solcher Stationen, Station I rechts und Station II zur Linken. b′ und b sind auf beiden

die Batterien, e′ und e die Erdplatten, u′ und u die Schlüssel, s′ und s die Elektromagnete der Schreibapparate. In Station II ist die Leitung für die Batterie b in dem Schlüssel zwischen Amboß und Hebel unterbrochen; die Batterie bringt deshalb keine Wirkung hervor. Dagegen

Fig. 269.



hat der Telegraphist in Station I den Hebel des Schlüssels niedergedrückt und dadurch die Leitung hergestellt. Der positive Strom nimmt seinen Weg von der Batterie b′ aus nach dem Amboß des Schlüssels in Station I, geht von diesem Schlüssel durch die von Stangen getragene Drahtleitung nach dem Schlüssel der andern Station II, über die vordere Säule desselben, um den Elektromagnet des Schreibapparats s und fließt über die Erdplatte e in die Erde ab. Der negative Strom der Batterie b′ findet seine Ableitung in die Erde durch die Erdplatte e′. Die Batterie b′ und der Elektromagnet s sind in Thätigkeit, und da in Station II der Telegraphist das Räderwerk und somit den Papierstreifen in Bewegung gesetzt hat, verzeichnet in Station II der Schreibstift die aus Station I abgesandte Depesche.

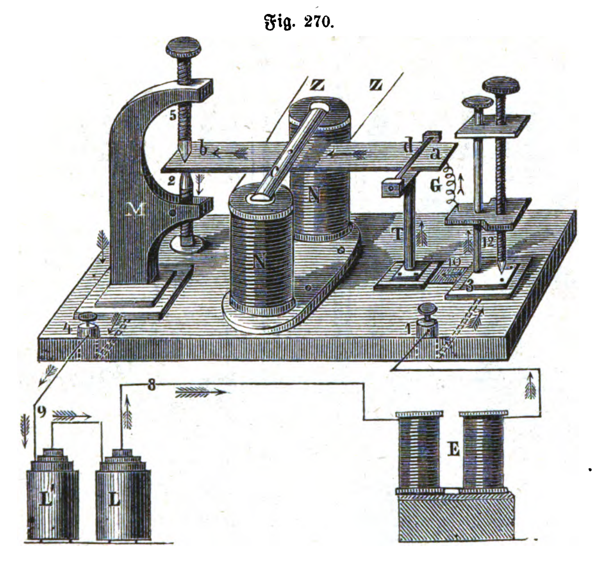
3. Das Relais. Der galvanische Strom verliert an Stärke, wenn er einen langen Leitungsdraht zu durchlaufen hat; seine Kraft wird desto geringer, je länger und je dünner der Leitungsdraht ist. Dazu kommt, daß die Telegraphendrähte unvollkommen isolirt sind; ein beträchtlicher Theil des Stromes gelangt auf Nebenwegen über die feucht gewordenen Träger des Drahtes in den Erdboden und erreicht nicht das Ende der Leitung. Wegen dieser Schwächung des Stromes vermag derselbe nicht, den Elektromagnet im Zeichenbringer hinreichend magnetisch zu machen und den Schreibstift oder das mit Farbe benetzte Rädchen so kräftig gegen das Papier zu drücken, daß die Eindrücke hinreichende Deutlichkeit besitzen. Nun könnte man größere Batterien anwenden und durch sie einen stärkeren Strom hervorbringen; ferner könnte man dickere Leitungsdrähte nehmen, um dem Strom seine Stärke zu erhalten. Allein beide Mittel würden zu kostspielig sein.

Deshalb hat man folgende Einrichtung getroffen. Man verwendet die Haupt- oder Linienbatterie einer Station, deren Strom nach der nächsten Station gelangt, unmittelbar gar nicht dazu, den Schreibhebel in

dem Zeichenbringer der nächsten Station zu bewegen. Sondern man stellt auf jeder Station noch eine zweite, kleinere Batterie, die **Lokalbatterie**, auf, deren Strom am Orte, wohin die Depeschen gehen, wirksam ist und nicht aus dem Bereich des Telegraphengebäudes hinauskommt. Die Lokalbatterie bewegt den neben ihr aufgestellten Zeichenbringer, wenn sie geschlossen wird. Die Linienbatterie auf der telegraphirenden Station bewirkt nur die Schließung und Oeffnung der Lokalbatterie. Tritt auf Station I die große Linienbatterie in Thätigkeit, so wird dadurch in demselben Augenblick die Lokalbatterie auf Station II geschlossen; der Strom der Lokalbatterie macht auf Station II den Elektromagnet anziehend, und der Schreibhebel bewegt sich.

Offenbar ist eine Hülfsvorrichtung nöthig, damit die Linienbatterie die entfernte Lokalbatterie schließen kann. Diese Hülfsvorrichtung, welche überaus empfindlich sein und **sich auch durch einen schwachen Strom bewegen lassen muß, heißt das Relais** (Vorspann). Figur 270 stellt eine der gebräuchlichsten Einrichtungen des Relais dar. Die Haupttheile desselben sind ein Elektromagnet N, durch dessen Draht der von der anderen Station kommende Strom läuft, und ein äußerst leicht beweglicher, messingener Hebel bda. Der Unterstützungspunkt dieses Hebels liegt in dem metallenen Träger bei d. Ueber den Polen des Elektromagnets

Fig. 270.

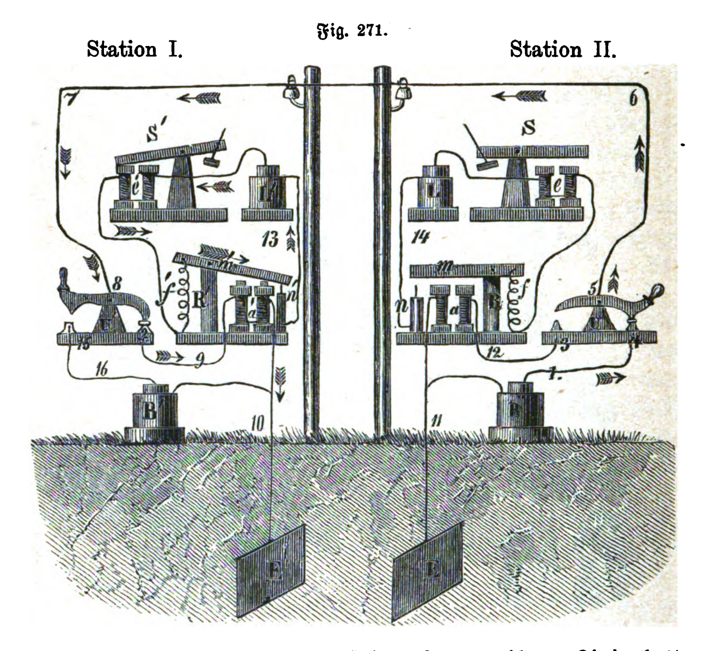


N trägt der Hebel den leichten eisernen Anker c. Wird der Anker angezogen, so bewegt sich der linke Arm des Hebels db nach unten, und sein Ende b, welches bis dahin die Elfenbeinspitze 5 berührte, drückt gegen die Metallspitze 2. Die Drähte 9 und 8 sind die Schließungsdrähte der Lokalbatterie. Berührt b die Spitze Nr. 2, dann ist die Lokalbatterie LL′ geschlossen. Ihr Strom geht von dem Kupfer in L durch den

Schließungsdraht 8, um den Elektromagnet E des Schreibapparats, durch die Klemmschraube 1, die Metallplatten 3 und 10 zum messingenen Träger T. Von ihm geht der Strom über die metallene Axe d, ebenso von 3 durch die Feder G über a, auf den Hebel ab über, gelangt zur Metallspitze 2, zu dem messingenen Ständer M, der Schraube 4 und mittels des Drahtes 9 zur Lokalbatterie in L′. Wird die entfernte Linienbatterie geöffnet, so hat der Elektromagnet des Relais N keine anziehende Kraft; eine im Relais unter dem Hebel angebrachte Feder G zieht dessen linken Arm nach oben, entfernt das Ende b des Hebelarms von der Spitze Nr. 2 und unterbricht zwischen 2 und b den Strom der Lokalbatterie. So überträgt das Relais sogleich jede Schließung oder Oeffnung der Linienbatterie auf die Lokalbatterie.

4. **Zwei Endstationen.** Die Anordnungen zweier Stationen mit Relais und die Leitung der Drähte, welche übrigens auch anders eingerichtet werden kann, zeigt Fig. 271. B′ und B sind die Linienbatterien, L′ und L die Lokalbatterien, U′ und U die Schlüssel, R′ und R die Relais, S′ und S die Schreibapparate, E′ und E die Erdplatten. Der Telegraphist in Station II hat den Schlüssel U niedergedrückt.

Fig. 271.

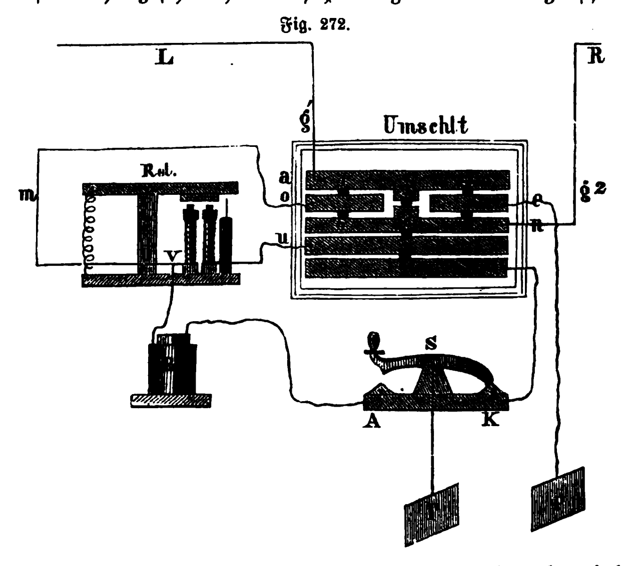


Nun geht von Station II der positive Strom ihrer Linienbatterie B vom Kupfer durch den Leitungsdraht 1 nach dem Amboß 4 des Schlüssels, zu seinem Hebel 5 und von da mittels der von Stangen getragenen Drahtleitung 5, 6, 7, 8 nach Station I. Hier tritt der Strom bei 8 in den Schlüssel U′ ein, nimmt seinen Weg über die vordere Säule 2 des

Schlüssels und den Draht 9 zum Relais R', umkreist den Elektromagnet a' dieses Relais und gelangt aus den Windungen desselben durch den Leitungsdraht 10 zur Erdplatte E'. Die negative Elektricität der auf der zweiten Station aufgestellten Linienbatterie B findet ihre Ableitung in die Erde durch den Draht 11 und die Erdplatte E. Der Strom der Linienbatterie in Station II ist daher durch Niederdrücken des Schlüssels hergestellt. Davon ist die Folge, daß auf Station I das Relais und folglich die Lokalbatterie geschlossen ist. Der Elektromagnet a' im Relais R' ist anziehend geworden und hat den metallenen Hebel m' auf die Spitze n' niedergedrückt. Nun nimmt der Strom der Lokalbatterie L' folgenden Weg. Ausgehend von dem Kupfer in L', umkreist der Strom den Elektromagnet e' des Schreibapparats S', gelangt von da zur Feder f' des Relais, durch den Hebel m' zur Spitze n' und kehrt durch den Leitungsdraht 13 zur Lokalbatterie L' zurück. Daher ist durch die Wirksamkeit der Linienbatterie oder das Niederdrücken des Schlüssels in Station II die Lokalbatterie in Station I geschlossen, und die Lokalbatterie setzt den Schreibstift im Schreibapparat S' in Bewegung.

5. **Eine Zwischenstation.** Die vorhergehende Zeichnung hat die Einrichtung zweier Endstationen veranschaulicht. Weil der Strom der Batterie desto mehr geschwächt wird, je länger die Leitung ist, kann man

Fig. 272.



mit Sicherheit den Strom nur auf eine bestimmte Strecke wirken lassen. Diese Strecke beträgt bei den deutschen Telegraphenlinien nicht über 50 Meilen; für dieselbe wird eine Batterie von 50 Elementen angewandt. Die am Ende einer solchen Telegraphenlinie befindlichen Stationen heißen Endstationen. Die zwischen den Endstationen befindlichen Stationen

heißen Zwischenstationen. Es muß nun die Leitung des Stromes auf den Zwischenstationen sich so ordnen lassen, daß erstens der Strom von einer Endstation an der Zwischenstation vorüber geht, so daß hier das Relais nicht bewegt wird, und die Zwischenstation die Depesche nicht erhält. Diese Stellung der leitenden Vorrichtungen heißt **die directe Stellung.** Zweitens kann die Absicht sein, daß auch alle Zwischenstationen die Depesche lesen; die Stellung der Vorrichtungen für diesen Zweck heißt **die Circularstellung.** Drittens muß die Zwischenstation mit einer in der Linie links oder einer in der Telegraphenlinie rechts von ihr liegenden Station correspondiren können. Die Stellungen der Apparate für diese Zwecke heißen **die Stationsstellung nach links** und **die Stationsstellung nach rechts.** Die Vorrichtung, durch welche die für die directe, die Circular- und die Stationsstellungen nöthigen Aenderungen in der Leitung des Stromes hervorgebracht werden, heißt **der Umschalter.** Auf ein Brett sind sechs parallele Messingschienen geschraubt; sie sind in der Zeichnung mit den Buchstaben a, o, e, n, u und w bezeichnet. Keine dieser Schienen berührt die andere; aber an den mit den Ziffern 1 bis 7 bezeichneten Stellen haben die einander benachbarten Schienen kreisförmige Ausschnitte. Aus der Kante jeder Schiene ist fast ein Halbkreis ausgeschnitten, und in die so entstandenen kreisförmigen Ausschnitte lassen sich metallene Stöpsel einsetzen. Durch einen in den Ausschnitt zwischen zwei benachbarten Schienen eingesetzten Stöpsel wird die Leitung zwischen beiden Schienen hergestellt. Fig. 272 zeigt den von der Station rechts kommenden Leitungsdraht R, der bei g^2 durch einen nicht gezeichneten Multiplicator führt und bei n mit dem Umschalter verbunden ist. L ist der Leitungsdraht von der Station links; er führt bei g^1 durch ein Galvanometer (einen Multiplicator) und ist bei a an die oberste Schiene des Umschalters geschraubt. Das Relais der Zwischenstation ist mit Rel. bezeichnet; das eine Ende der Drahtwindungen seines Elektromagnets vmo ist bei o an den Umschalter befestigt, das andere an die Schiene u. Die Lokalbatterie und der Schreibapparat sind weggelassen, weil ihre Anordnung von der bereits beschriebenen nicht abweicht; das Relais schließt auch hier die Lokalbatterie und setzt dadurch den Hebel des Schreibapparats in Bewegung. B ist die Linienbatterie; sie ist einerseits bei v mit dem Draht vmo, andererseits mit dem Amboß A des Schlüssels S verbunden. Von dem Berührungskegel K führt ein Draht Kw nach dem Umschalter. P und p sind die Erdplatten, deren erste mit dem Hebel des Schlüssels, die zweite bei e mit dem Umschalter leitend verbunden ist, ohne daß die Drähte pe und ng^2 R einander berühren. Der Umschalter wird auf folgende Weise gebraucht. 1) **Für die directe Stellung** wird ein Stöpsel in den Ausschnitt Nr. 3 eingesetzt. Der von der Station zur Linken durch den Draht L kommende Strom geht durch das Galvanometer g^1, die Schiene a, den Stöpsel 3, die Schiene n, das Galvanometer g^2 und durch den Draht R weiter, ohne das Relais Rel. in Bewegung zu setzen. Die beiden Galvanometer zeigen an, ob telegraphirt wird; ist die Depesche beendet, so schließen die correspondirenden Stationen ihre Batterien eine Minute

lang. Während dieser Zeit bleiben die Magnetnadeln der beiden Galvanometer g^2 und g^1 stark abgelenkt und zeigen dadurch das Ende der vor der Station vorübergegangenen Depesche an. 2) **Für die Circularstellung** werden zwei Stöpsel Nr. 1 und 6 eingesetzt. Der Strom nimmt seinen Weg von L durch die Schiene a, den Stöpsel 1, die Schiene o, den Draht omv, um den Relaiselektromagnet, nach der Schiene u, dem Stöpsel 6, der Schiene n und durch den Draht R weiter nach der andern Station. Das Relais ist in Thätigkeit, ebenso die Lokalbatterie und der Schreibapparat, und die Station erhält die Circulardepesche. 3) **Die Stationsstellung nach links** erfordert das Einsetzen der drei Stöpsel Nr. 1, 5 und 7. Der von der Station links durch den Draht L kommende Strom nimmt seinen Weg durch Schiene a, Stöpsel 1, Schiene o, den Draht omv, um den Relaiselektromagnet, Schiene u, Stöpsel 7 und Schiene w, von da durch wK nach dem Schlüssel und durch SP in die Erde. Das Relais ist thätig, und unsere Zwischenstation empfängt von der links gelegenen Station Depeschen. Unterdessen geht der von der Station zur Rechten durch R kommende Strom durch n, 5, e, p in die Erde. Will unsere Zwischenstation nach links sprechen oder Depeschen senden, so wird der Schlüssel auf den Amboß A niedergedrückt, und dadurch die Linienbatterie B in Thätigkeit gesetzt. Der negative Strom geht von B nicht durch das Relais, sondern durch den Draht vmo, den Stöpsel 1, über a und L nach der andern Station, und dort in die Erde. Der positive Strom gelangt von der Batterie B zum Amboß A, auf den der Hebel niedergedrückt ist, und wird durch den Hebel S und die Erdplatte P in das Erdreich abgeleitet. 4) **Die Stationsstellung nach rechts** erfordert das Einsetzen der drei Stöpsel 2, 4, 7. Der von rechts durch R kommende Strom geht durch n, Stöpsel Nr. 4, Schiene o, Draht omv, durch die Windungen des Relaismagnets, u, Stöpsel Nr. 7, Schiene w, zum Schlüssel, durch wKS und durch SP in die Erde. Der von links her kommende Strom wird unterdessen durch a, 2, e, p in die Erde abgeleitet. Unsere Station empfängt von rechts Depeschen. Um dorthin Depeschen zu senden, wird der Schüssel niedergedrückt, und dadurch die Batterie B in Thätigkeit gesetzt.

Soll eine Depesche über den Endpunkt einer Telegraphenlinie hinaus auf eine andere Telegraphenlinie gesandt werden, so geschieht dies durch die **Uebertragungsrelais.** Dieselben sind so eingerichtet, daß sie, wie sonst die Relais die Lokalbatterie schließen, so die Batterie der neuen Linie schließen und so die telegraphischen Zeichen auf die andere Linie übertragen.

6. Die elektromagnetischen **Typendrucktelegraphen** liefern Depeschen, welche mit gewöhnlichen Buchstaben gedruckt sind. Zu ihnen gehört der von dem Professor Hughes in Amerika erfundene Typendrucktelegraph, welcher neben den anderen Telegraphen-Apparaten und Einrichtungen in Deutschland, England und Frankreich auf den großen Telegraphenlinien in Gebrauch ist. Ein ungefähr 50 Klgr. schweres Gewicht setzt mittels eines Räderwerks eine an einer wagerechten Welle angebrachte Scheibe in

schnelle drehende Bewegung. Diese Scheibe, die Typenscheibe, ist an ihrem Rande in 56 gleiche Theile getheilt, deren jeder eine Erhabenheit mit einem Buchstaben, einer Ziffer oder einem Interpunktionszeichen trägt. Dieselben bedecken sich, indem sie eine neben der Typenscheibe befindliche Schwärzrolle berühren, mit Druckerschwärze. Senkrecht unter der Mitte der Typenscheibe ist eine Walze, die Druckwalze angebracht, welche durch das Räderwerk in Umdrehung gesetzt wird und einen Papierstreifen bewegt. Der Papierstreifen berührt den oberen Theil der Druckwalze, kommt aber, wenn kein Zeichen telegraphirt wird, mit der Typenscheibe nicht in Berührung. Durch sehr sinnreiche, aber auch sehr complicirte Vorrichtungen wird bewirkt, daß, wenn das zu telegraphirende Zeichen an dem Rande der rotirenden Typenscheibe sich unten befindet, die unter ihr sich drehende Druckwalze gehoben wird und den Papierstreifen gegen die Typenscheibe andrückt, so daß der unten auf der Typenscheibe liegende Buchstabe abgedruckt wird. Der Zeichengeber dieses Telegraphen hat die Gestalt einer Claviatur; die einzelnen Tasten derselben sind mit den zu telegraphirenden Buchstaben, Ziffern oder Interpunktionszeichen bezeichnet und werden beim Telegraphiren niedergedrückt. Da die Welle der Typenscheibe sich sehr schnell bewegt und in der Minute 100 Umläufe macht, sind mit dem Hughes'schen Telegraphen oft 40 Depeschen, jede zu 30 Worten, in einer Stunde befördert worden.

7. **Der elektrochemische Telegraph** ist etwas einfacher, als der Morse'sche Telegraph. Beibehalten ist bei ihm der Schlüssel des Schreibtelegraphen und das zur Bewegung eines Papierstreifens dienende Räderwerk; das Relais und die Lokalbatterie fallen weg. Der Papierstreifen, den das Räderwerk bewegt, ist mit Jodkaliumlösung (§. 210) getränkt; damit er feucht und leitend bleibe, wird er über einem Gefäß mit sehr verdünnter Schwefelsäure zwischen einem hineintauchenden Schwamm und einer über demselben befindlichen Walze hindurchgezogen. Zwischen dem Gefäß und den Walzen des Räderwerks ist ein metallener Steg aufgestellt, über den Steg wird das Papier gezogen und durch einen federnden Schreibstift gegen den Steg gedrückt. Der galvanische Strom geht von der andern Station durch den Schreibstift und das Papier zu dem darunter befindlichen Stege. Circulirt der Strom, so wird die Jodkaliumlösung unter dem Schreibstift zersetzt. Circulirt der Strom nur einen Augenblick, so entsteht ein farbiger Punkt; ist der Schlüssel auf der anderen Station längere Zeit niedergedrückt, so entsteht unter dem Schreibstift eine farbige Linie, wie beim Schreibtelegraphen. Hier hat nur eine chemische Wirkung des Stromes statt; die magnetische ist dabei gar nicht angewandt. Zu den chemischen Telegraphen gehört auch der **Casellische Pantelegraph**, der von dem Abt Caselli zu Florenz erfunden und 1865 in Frankreich in praktischen Betrieb genommen ist. Dieser Telegraph heißt Pantelegraph, das heißt, Universaltelegraph, weil er alle Arten von Schriftzeichen, auch Zeichnungen, telegraphirt. Auf jeder Station ist ein 2 M. langes und 8 Klgr. schweres Pendel angebracht, dessen Gang durch ein Uhrwerk regulirt wird; durch die Uhrwerke und durch Elektromagnetismus wird

bewirkt, daß die Schwingungen der Pendel auf allen Stationen genau gleichzeitig erfolgen. Jedes Pendel setzt durch einen Seitenarm mittels einer sehr sinnreichen Vorrichtung eine eiserne Nadel in Bewegung, so daß sie auf einer gekrümmten Metallplatte dicht neben einander liegende Parallellinien zeichnet. Auf diese Metallplatte wird die abzusendende Depesche gelegt, welche mit isolirender Tinte auf Stanniol geschrieben ist. Auf der empfangenden Station ist auf die Metallplatte ein mit gelbem Blutlaugensalz getränktes Papier gelegt. Gleitet die Nadel der absendenden Station über Metall, so gelangt der Strom nicht nach der andern Station. Berührt aber die erste Nadel die isolirende Tinte, so ist, bei der besonderen Einrichtung der Leitung, der Strom hergestellt und zersetzt das Blutlaugensalz; es entsteht ein blauer Abdruck der Depesche, der aus vielen Punkten zusammengesetzt ist.

§. 223. Der Zeigertelegraph.

An den, zuerst von dem Engländer Wheatstone im Jahre 1840 angegebenen, Zeigertelegraphen wird durch Zusammenwirken des Elektromagnetismus und der Federkraft ein Zeiger vor einem Zifferblatte bewegt, auf welchem die Buchstaben verzeichnet sind.

a. Der Hauptbestandtheil des Zeichenbringers ist ein senkrecht stehender, in der Zeichnung nur zur Hälfte sichtbarer Elektromagnet E. Ueber seinen Polen schwebt ein eiserner Anker A, getragen von dem linken Arme eines wagerecht liegenden Hebels H, dessen Axe in seiner Mitte liegt. An den anderen Hebelarm, zur Rechten, greift eine spiralförmige Feder F und sucht ihn hinabzuziehen. Durchfließt ein auf der anderen Station erregter galvanischer Strom den Umwickelungsdraht des Elektromagnets, so zieht er den Anker an und bewegt den linken Hebelarm abwärts; ist der galvanische Strom unterbrochen, und deshalb der Elektromagnet der anziehenden Kraft wieder beraubt, so zieht die Feder den rechten Hebelarm nieder und entfernt den Anker von dem

Fig. 273.



Elektromagnet nach oben. So wird, indem abwechselnd die Kraft des Elektromagnets und die Kraft der Feder in Thätigkeit kommt, eine auf- und niedersteigende Bewegung erreicht, die folgendermaßen zum Treiben eines Zeigers benutzt wird.

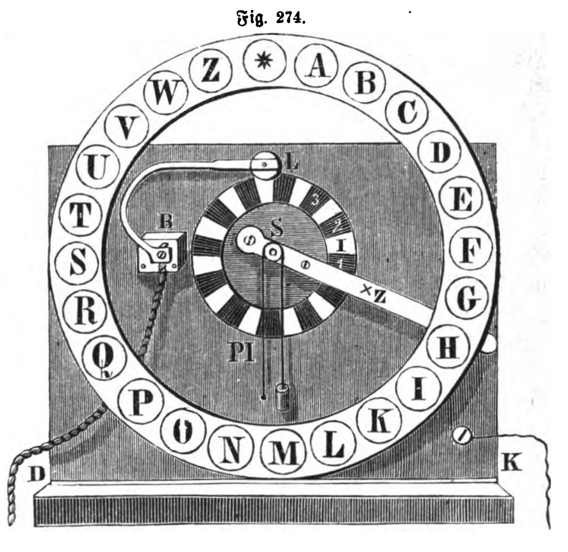
An die Umdrehungsaxe des Hebels ist ein Haken mit zwei Zähnen, ein Uhranker (§. 69), befestigt und bewegt sich mit ihm hin und her; seine Zähne greifen abwechselnd in die Zahnlücken eines unter ihm angebrachten Steigrades, welches zwölf schräge, spitze Zähne hat. Jeder Zahn des Ankers muß seinen Weg durch die zwölf Zahnlücken des Steigrades machen, und es werden zweimal zwölf Bewegungen des Ankers erfordert, damit das Rad einen ganzen Umlauf vollende; jede Bewegung schiebt somit das Rad um einen halben Zahn oder um einen von den 24 gleichen Theilen eines Kreises weiter. Die Welle des Rades trägt einen Zeiger, der sich zugleich mit ihm bewegen muß; er dreht sich vor einem kreisförmigen Ringe, auf dessen vierundzwanzig gleichen Feldern 23 Buchstaben und ein Stern verzeichnet sind.

Auf den Stern weist der Zeiger in seiner Ruhelage, die er jedesmal vor dem Beginn des Telegraphirens einnimmt. Wird nun auf der andern Station der Strom hergestellt, so daß er den Umwickelungsdraht des Elektromagnets durchfließt, so zieht der Elektromagnet seinen Anker an, der linke Zahn des Ankers greift gegen einen Zahn des Steigrades und schiebt ihn vorwärts; der Zeiger tritt aus seiner Ruhelage auf den Buchstaben A. Unterbricht darauf der Telegraphist auf der andern Station den Strom, so wird der Elektromagnet unmagnetisch, und die Feder bewegt den Hebel und den Uhranker. Dessen rechter Zahn tritt in die Zahnlücke des Steigrades, über welche er beim Niedergehen des linken Ankerzahns gekommen ist, schiebt das Rad vorwärts, und der Zeiger tritt auf den Buchstaben B. Beim Herstellen des Stromes ist somit der Elektromagnet, beim Unterbrechen die Feder thätig; jede Herstellung und jede Unterbrechung bringt den Zeiger um einen Buchstaben weiter. Jedes zu telegraphirende Wort wird buchstabirt und aus seinen einzelnen Buchstaben zusammengesetzt. Der Zeiger kann nur vorwärts gehen, muß also über manche Buchstaben forteilen, die in dem telegraphirten Worte nicht vorkommen oder noch nicht an der Reihe sind, ein Umstand, wodurch Zeit verloren wird; auf den Buchstaben aber, die gemeint sind, steht er kurze Zeit still. Kommt etwa in einem Worte irgend ein Buchstabe zweimal unmittelbar hinter einander vor, so hat der Zeiger einen vollen Umlauf zu machen, um wieder zu demselben Buchstaben zu gelangen; diesem Uebelstand abzuhelfen, hat man an manchen Telegraphen, bei einem Steigrade mit 30 Zähnen, Buchstabenringe mit 60 Feldern, in welchen die am häufigsten vorkommenden Buchstaben mehrfach verzeichnet sind. Zur Anfertigung eines Modelles läßt sich darum jedwedes Steigrad aus einem alten Uhrwerk sammt seinem Anker verwenden. Außerdem erfordert die ursprüngliche Einrichtung einen starken Strom, weil der Elektromagnet selbst mittels des Ankers das Rad drehen muß; darum hat man ein Gewicht, dessen Schnur man sich um die Axe des Rades gewickelt

und mit dem Gewicht auf der rechten Seite hinabhängend zu denken hat, angewandt, um das Rad zu treiben; Elektromagnet und Feder sind dann nicht mehr bewegende Kräfte, sondern wirken als Hemmung, ganz so wie das Pendel für das Räderwerk einer Uhr. (§. 69.)

b. Die zum Geben der Zeichen dienende Vorrichtung muß ein Stromunterbrecher sein. In einer lothrecht aufgestellten Messingplatte PI liegt die metallene Axe einer vor ihr befindlichen runden Unterbrechungsscheibe S; diese ist ebenfalls aus Messing; aber ihr Umfang ist in ebenso viel gleiche Felder getheilt, als der Buchstabenring des Zeichenbringers Felder zählt, also in 24 Theile, von denen einer um den andern einen Einsatz von Elfenbein hat. Somit besteht der Rand der Scheibe aus 12 Metallstücken und 12 Elfenbeineinsätzen in abwechselnder Folge; die letzteren sind in der Zeichnung durch weiße Felder dargestellt. Auf den oberen Rand der Unterbrechungsscheibe drückt eine kupferne Rolle, die Leitungsrolle L, die stets nur eins ihrer Felder berührt und mittels eines Metallbügels mit dem Leitungsdraht D, der nach der anderen Station führt, in metallischer Verbindung steht. Dagegen ist die Rolle durch einen Zwischenraum, der Bügel durch ein Brettchen B und der Leitungsdraht durch einen nicht leitenden Ueberzug von der Platte des Gestelles PI getrennt; ein galvanischer Strom kann also von dieser Platte nicht zu ihnen übergehen. An die Platte ist bei K der eine Schließungsdraht der Batterie geschraubt, der andere führt zu einer eingegrabenen Erdplatte hinab. Berührt nun die Rolle, wie es nach der Zeichnung der Fall ist, einen Elfenbeineinsatz, so ist der Strom unterbrochen; er könnte wohl zur Platte des Gestells und zu der durch ihre metallene Axe mit ihr leitend verbundenen Unterbrechungsscheibe gelangen, doch nicht weiter; die Unterbrechungsstelle liegt bei dem Elfenbeineinsatz, zwischen der Unterbrechungsscheibe und der Leitungsrolle. Dreht man die Scheibe um ein Feld weiter, so kommt die Leitungsrolle mit einem Metallstück in Berührung; der Strom ist hergestellt und nimmt von K über die Platte des Gestelles, die Unterbrechungsscheibe, die Leitungsrolle, den Metallbügel und den Leitungsdraht seinen Weg nach der anderen Station. Durch eine

Fig. 274.



ganze Umdrehung der Unterbrechungsscheibe wird mithin die Leitung abwechselnd 12 Mal hergestellt und ebenso oft unterbrochen.

Die Unterbrechungsscheibe hat der Telegraphist nicht selber zu drehen, sondern sie wird von einem durch ein Gewicht getriebenen Räderwerk in Bewegung gesetzt, das beliebig angehalten oder in Gang gesetzt werden kann; die Zeichnung zeigt nur ein Gewicht, dessen Schnur um die Welle der Unterbrechungsscheibe gewunden ist und sie nach rechts umdreht. Vor der Unterbrechungsscheibe ist in einem größeren, sie umschließenden Kreise ein Tastenwerk geordnet; es zählt 24 Knöpfe oder Tasten, sie sind auf der Vorderseite mit Buchstaben bezeichnet und enden nach der Scheibe zu mit einem Stift, den eine um ihn gewickelte Spiralfeder nach vorn schiebt. Nur der oberste, mit dem Sternchen bezeichnete Knopf hat keine Spiralfeder und läßt sich herausziehen. An die Unterbrechungsscheibe ist ein Zeiger Z geschraubt, der sich mit ihr umdreht und, wenn der Telegraph nicht arbeitet, vor dem mit dem Stern bezeichneten Stifte steht, der seine Bewegung hindert. Wird dieser Stift ausgezogen, so beginnen Räderwerk und Zeiger ihren Umlauf. Soll der Buchstabe A telegraphirt werden, so wird die mit A bezeichnete Taste niedergedrückt, und der Zeiger durch sie aufgehalten. Dabei ist die Leitungsrolle auf das erste Metallstück 1 der Unterbrechungsscheibe gekommen, der Strom ist einmal hergestellt, und der Zeiger auf der anderen Station tritt auf A. Hat man den Buchstaben H zu telegraphiren, so hat man nur die Taste H niederzudrücken; der Zeiger der Unterbrechungsscheibe bleibt vor ihr stehen; die Leitungsrolle ist mit 4 Metallstücken und 4 Elfenbeineinsätzen in Berührung gekommen, und diese 4 Herstellungen und Unterbrechungen der Leitung haben den Zeiger des Zeichenbringers auf der anderen Station auf H geführt. Der Anfang einer Depesche wird entweder durch einen vollen Umlauf des Zeigers und das dabei hörbare Rasseln oder durch ein Weckerwerk angekündigt, das durch den Hebel des Zeichenbringers ausgelöst wird.

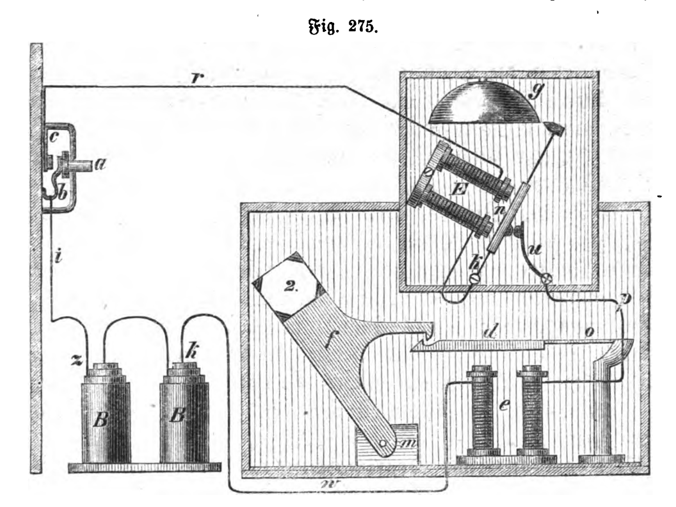
§. 224. Elektromagnetische Haustelegraphen, Kraftmaschinen und Uhren.

1. Der Haustelegraph. Alle besseren Gasthöfe sind heutzutage mit Haustelegraphen versehen, mittels deren die Gäste von ihren Zimmern aus der Bedienung Signale zu geben im Stande sind. Auf jedem Fremdenzimmer befindet sich ein Zeichengeber, der Druckknopf, und von demselben aus führen Drähte, welche mit Wolle besponnen oder mit Guttapercha überzogen sind, sowohl zu einer galvanischen Batterie, als auch zu dem Zeichenbringer. Der Druckknopf ist ein an eine Wand befestigter Stromunterbrecher; er enthält, der Wand am nächsten, eine Metallplatte c, von welcher die Drahtleitung r zu dem Zeichenbringer führt, und vor der Metallplatte eine Feder b, die sich durch ein Knöpfchen aus Elfenbein gegen die Platte c drücken läßt. Drückt man mit der Hand gegen den Elfen-

beinknopf, so wird dadurch der galvanische Strom hergestellt und setzt den Zeichenbringer in Thätigkeit.

Das Zeichen erhält die Bedienung durch eine Glocke; aber sie bedarf noch einer zweiten Mittheilung, einer Bezeichnung des Zimmers, von dem aus telegraphirt worden ist. Deshalb setzt sich der Zeichenbringer aus zwei Apparaten zusammen, aus dem Glockenapparat und dem Indicatorapparat. Der Glockenapparat enthält einen Elektromagnet E; vor den Polen desselben befindet sich, von einer Feder k getragen, ein eiserner Anker n; die Verlängerung desselben bildet den Stiel eines Hammers, welcher an eine Glocke g schlagen soll. Der Anker lehnt sich an eine metallene Feder u, welche in die Leitung eingeschaltet ist.

Fig. 275.



Drückt man auf den Druckknopf a, so geht der positive Strom von der Kohle oder dem Kupfer k der Batterie durch die Drahtstrecken w und p zu der den Anker berührenden Feder u im Glockenapparat, dann zu dem Anker n und der Feder k; von da fließt der Strom durch die Windungen des Elektromagnets E, gelangt durch die Drahtleitung r zu der Platte c in dem Druckknopf, darauf zu der gegen dieselbe gedrückten Feder b und durch den Draht i zum Zink z der Batterie. Die Leitung ist daher geschlossen; der Elektromagnet E tritt in Thätigkeit, zieht seinen Anker an und bewirkt, daß der Hammer gegen die Glocke g schlägt. Aber durch die Bewegung des Ankers wird zwischen ihm und der ihn berührenden Feder u der Strom unterbrochen; der Elektromagnet zieht den Anker nicht mehr an, und der Anker sinkt gegen die Feder u zurück. Dadurch wird der Strom wieder hergestellt; der Hammer schlägt wieder gegen die Glocke, und dieser Vorgang wiederholt sich, solange auf den Zeichengeber a gedrückt wird. Eine Reihe schnell auf einander folgender Glockenschläge bildet das eine Signal.

In der Nähe des Glockenapparats befindet sich der Indicator-

apparat. Der Indicator besteht aus einem in die Drahtleitung eingeschalteten Elektromagnet e, seinem Anker d und einem Hebel f. Der Elektromagnet e ist senkrecht aufgestellt und richtet seine Pole nach oben; über ihnen schwebt der von einer Feder o getragene Anker d; der Anker endigt in einen Haken und hält mittels desselben den einarmigen Hebel f fest, welcher sich um den Punkt m drehen kann. Wird der Strom hergestellt, so zieht der Elektromagnet e den Anker d an. Dieser läßt den Hebel f los, und der Hebel sinkt hinab; sein oberes Ende, welches mit der Nummer eines Zimmers (Nr. 2) bezeichnet ist, tritt aus der vor ihm befindlichen Oeffnung des Apparates heraus und zeigt der Bedienung an, von welchem Zimmer aus das Signal gegeben ist. Der Hebel f wird nachher mit der Hand wieder in seine frühere Stellung gebracht. So viel Fremdenzimmer vorhanden sind, so viel Indicatoren sind nöthig; jeder wird eingeschaltet in die Drahtleitung für dasjenige Zimmer, dessen Nummer sein Hebel anzeigt. Sämmtliche Indicatoren werden neben einander in einem gemeinsamen Gehäuse angebracht und machen zusammen den Indicatorapparat aus. Nicht selten ist der Indicatorapparat vorn durch eine geschwärzte Glasplatte geschlossen, auf welcher so viel Stellen nicht geschwärzt sind, als der Gasthof Zimmer hat. Wird der Strom für einen Indicator geschlossen, so sinkt sein Hebel f, und die von ihm getragene Zimmernummer wird hinter der dazu gehörenden freien Stelle des Glases sichtbar. So wird gleichzeitig mit dem Glockensignal die Nummer des Zimmers telegraphirt, von dem aus das Signal gegeben worden ist.

Auf den Eisenbahnen sind neben den Wärterhäuschen Läutewerke aufgestellt, welche durch den elektrischen Strom in Thätigkeit gesetzt werden und den Zweck haben, die Beamten von dem Nahen eines Eisenbahnzuges in Kenntniß zu setzen.

2. Elektromagnetische Kraftmaschinen. Indem man die Zahl der Windungen vermehrte, Eisenkerne von größerem Umfange nahm und den Strom großer Batterien herumleitete, hat man Elektromagnete hergestellt, die mehrere Centner zu tragen vermögen.*) Wegen der Stärke ihrer magnetischen Kraft sind sie nicht bloß sehr geeignet, Stahl zu magnetisiren, wobei man den Eletromagnet fest auf den Tisch legt und das zu magnetisirende Stahlstück nach dem Verfahren des einfachen Striches an einem

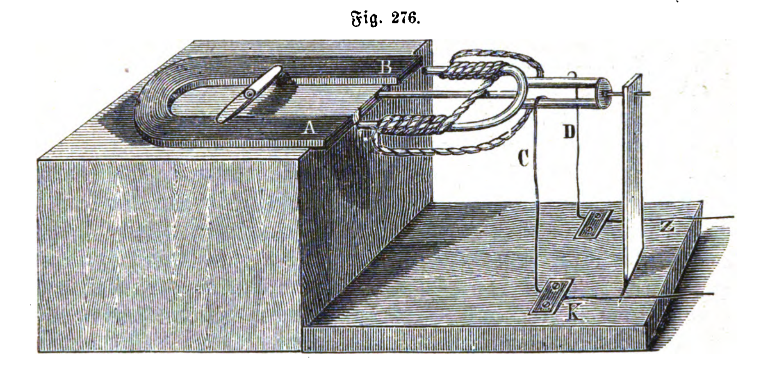
---

*) Mittels starker Elektromagnete hat Faraday 1845 gefunden, daß alle Körper unter dem Einfluß des Magnetismus stehen. Ein wagerecht aufgehängtes Stäbchen von Nickel nimmt in der Nähe eines starken Magnets eine solche Richtung an, daß sein eines Ende sich dem einen Magnetpol, das andere Ende dem anderen Magnetpol nähert, und wird von dem Magnet angezogen. Solche Körper, die von sehr starken Magneten angezogen werden, heißen paramagnetische oder kurzweg magnetische Körper. Paramagnetische Körper sind Nickel, Kobalt, Platin, Flußspath, Graphit und Holzkohlen. Dagegen werden die Enden eines wagerecht hängenden Stäbchens aus Wismuth von beiden Polen eines kräftigen Magnets abgestoßen. Solche Körper, welche von beiden Polen eines starken Magnets abgestoßen werden, heißen diamagnetische Körper. Diamagnetische Körper sind Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber, Gold, Glas, Wasser und alle Gase mit Ausnahme des Sauerstoffs.

seiner Pole (§. 132 a) hinabzieht, sondern man gedachte sie auch als treibende Kraft für Maschinen zu benutzen.

Versuch. Zur Anfertigung des Modells einer elektromagnetischen Kraftmaschine bedarf man eines hufeisenförmigen Stahlmagnets von mindestens 400 Gr. Tragkraft, wie man in Eisenwaarenhandlungen zum Preise von 2 Mark erhält. Er wird auf ein 6 Cm. starkes Brett gelegt, das auf das eine Ende eines längeren Brettes genagelt ist; quer über den Magnet lege man ein Holzstäbchen, ziehe durch seine Mitte eine Schraube und klemme den Magnet nachher fest. Vor seinen Polen soll ein kleiner Elektromagnet sich drehen, dem man 4 Cm. Länge und die Dicke einer Gänsefeder giebt; durch seine Krümmung läßt man bei seiner Anfertigung eine viereckige Bohrung führen und eine mit runden Zapfen endende vierseitige Axe hindurchschieben, die wenig vor den Polen des Eisenkernes, aber um 4 Cm. vor seiner Krümmung hervorragt. Auf dies hervorragende Ende der Axe wird ein walzenförmiges Holzstück vom Durchmesser eines starken Fingers und 2 Cm. Länge getrieben, und an dasselbe mit kurzen Nägeln, welche die eiserne Achse nicht berühren dürfen, zwei anschließende messingene Halbringe befestigt, die man erhält, wenn man um das Holz einen dünnen Messingstreifen zu einem Cylinder biegt, und diesen der Länge

Fig. 276.



nach in zwei gleiche Theile zerschneidet. Die Halbringe werden dicht an einander geschoben, und, indem man eine Messerschneide in dem Zwischenraum zwischen ihnen mehrmals hin- und herbewegt, dafür gesorgt, daß sie sich nicht metallisch berühren. Zur Umwindung des kleinen Elektromagnets wird überzogener Draht genommen und in drei Lagen aufgewickelt; jedes der frei bleibenden Drahtenden wird an einen der Halbringe, nahe der Krümmung des Eisenkerns gelöthet. Zwei kleine Messingbleche erhalten eine Bohrung, in welcher die Zapfen der Axe sich leicht bewegen, und werden in lothrechter Stellung auf das Brett geschraubt; die Pole beider Magnete müssen einander so nahe liegen, als ohne gegenseitige Berührung möglich ist. Endlich werden noch zwei federnde dünne Drähte von Messing oder Kupfer so befestigt, daß der eine den untern, der andere den oberen Halbring berührt; an die federnden Drähte werden die

Schließungsdrähte einer galvanischen Kette geschraubt oder mit den Händen daran gedrückt.

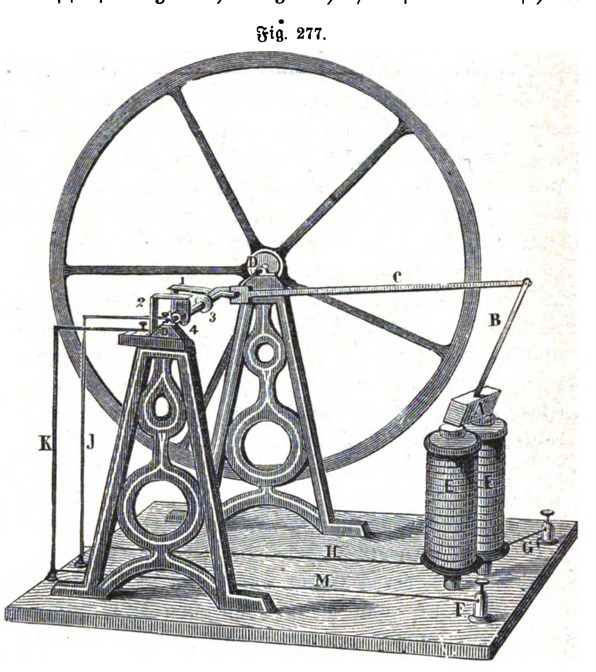
Der von der Kohle ausgehende, positive Strom gelangt durch den einen federnden Draht zu dem einen Halbringe, geht durch den angelötheten Umwindungsdraht, indem er den Eisenkern umkreist, zu dem anderen Halbringe und durch den darauf drückenden federnden Draht zum zweiten Schließungsdraht der Kette. Ist der Draht rechts gewunden, so liegt an der Eintrittsstelle des positiven Stromes der Südpol des Elektromagnets. Der Stahlmagnet ist nun so zu legen, daß er dem Südpol des Elektromagnets seinen Südpol zukehrt. Gleichnamige Pole stoßen sich ab; der Elektromagnet dreht sich, um seinen Südpol dem Nordpol des Stahlmagnets zu nähern; dabei hat er aber die Halbringe, die zusammen einen Commutator bilden, auch halb umgedreht und den Halbring, von dem er vorher den positiven Strom aufnahm, mit dem vom Zink kommenden federnden Drahte in Berührung gebracht. Der positive Strom tritt deshalb hier, an seiner früheren Eintrittsstelle, aus und bewirkt einen Nordpol, der in Folge der halben Umdrehung vor dem Nordpol des Stahlmagnets liegt. Wieder abgestoßen, begiebt sich der Elektromagnet in seine frühere Lage, muß sie wegen des eintretenden Polwechsels wieder verlassen und verharrt darum ununterbrochen in einer drehenden Bewegung. Statt des Stahlmagnets wird bei größeren Maschinen ebenfalls ein Elektromagnet angewandt und durch eine besondere Batterie magnetisch erhalten.

In der **elektromagnetischen Kraftmaschine von Grüel** bewirkt der Elektromagnet zuerst eine hin- und hergehende Bewegung. Ein Elektromagnet E ist lothrecht aufgestellt, so daß seine Pole nach oben gekehrt sind. Quer über den Polen liegt ein eiserner Anker A, der nur so breit ist, daß er um die Kanten seiner unteren Fläche sich drehen kann, ohne hinabzufallen. Steht, wie in der Zeichnung, der Anker A schräg, indem er auf der rechten Kante seiner Unterfläche ruht, so leitet man den Strom um den Elektromagnet; der Elektromagnet zieht den Anker an und bewegt den lothrecht an den Anker befestigten Stab B nach links. Wenn der Anker zu vollkommener Berührung mit den Polen gelangt ist, und der Ankerstab B lothrechte Stellung angenommen hat, dann unterbricht man den galvanischen Strom; der Elektromagnet läßt den Anker los, und der Anker setzt nach dem Beharrungsgesetz seine Bewegung nach links fort und dreht sich um die linke Kante seiner unteren Fläche, so daß der Ankerstab B schräg nach der linken Seite überhängt. Darauf wird der Strom wieder hergestellt; der Anker wird angezogen, und der Ankerstab B bewegt sich nach rechts. Steht er lothrecht, so wird der Strom unterbrochen; aber der Anker und sein Stab setzen die Bewegung nach rechts fort, bis sie durch die nächste Herstellung des Stromes genöthigt werden, sich wieder nach links zu wenden. So wird durch Herstellung und Unterbrechung des Stromes der Ankerstab B in eine hin- und hergehende Bewegung gesetzt; er theilt dieselbe der wagerechten Bläuelstange C, mit der er durch ein Gelenk verbunden ist,

mit und dreht mittels einer Kurbel eine Axe DD und ein an die Axe befestigtes Schwungrad um.

Die rechtzeitige Herstellung und Unterbrechung des Stromes führt die Maschine selbst durch einen an der Axe des Rades angebrachten Disjunktor aus. An die Axe ist nämlich eine kupferne, kreisförmige Scheibe und neben dieser eine ellipsenförmige Scheibe gelöthet; auf die Kreisscheibe drückt die messingene Feder Nr. 1, auf die ellipsenförmige Scheibe die Feder Nr. 2. Der Strom der galvanischen Kette, deren Schließungsdrähte in die Klemmschrauben G und F geschraubt werden, tritt von der Klemmschraube G aus in die Windungen des Elektromagnets ein, umkreist denselben und gelangt durch den wagerechten Draht H und den lothrechten Draht J zu der Feder Nr. 1, der Kreisscheibe, ihrer metallenen Axe und der ellipsenförmigen Scheibe. Bei jeder Umdrehung der Axe berührt die Feder Nr. 2 zweimal die ellipsenförmige Scheibe; bei zwei Stellungen der Scheibe aber wird sie von der Feder nicht berührt. Berührt die Feder Nr. 2 die ellipsenförmige Scheibe, wie in der Zeichnung, so geht der Strom von dieser Scheibe zur Feder Nr. 2 und durch die Drähte K und M und die Klemmschraube F zur galvanischen Kette; der Strom ist also hergestellt. Steht der Ankerstab B lothrecht, so wird die Feder von der ellipsenförmigen Scheibe nicht berührt, und der Strom ist unterbrochen. Bei jeder Umdrehung der Axe bewirkt der Disjunktor eine zweimalige Unterbrechung und eine zweimalige Herstellung des Stroms und veranlaßt dadurch die hin- und hergehende Bewegung des Ankerstabes.

Fig. 277.



Gegen das Jahr 1840 wurden über die elektromagnetische Triebkraft mit dem lebhaftesten Eifer, besonders von Jacobi zu Petersburg und Wagner zu Frankfurt a. M., Versuche angestellt. Jacobi brachte es dahin, durch eine elektromagnetische Kraftmaschine ein Boot auf der Newa zu treiben. Es war 8 M. lang und nach Art der Dampfschiffe mit Schaufel-

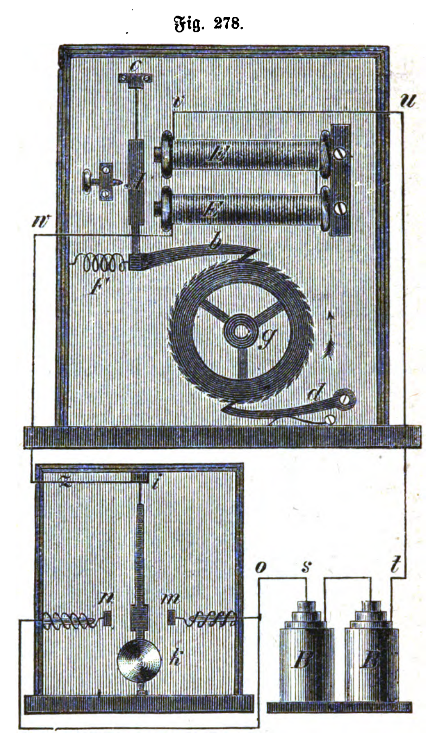
rädern versehen; die zwei Batterien, aus 64 Zink-Platin-Ketten zusammengesetzt, waren längs der Seitenwände des Schiffes aufgestellt. Die Maschine bestand aus 16 Elektromagneten, von denen die eine Hälfte in dem Umkreis einer senkrechten unbeweglichen Scheibe angebracht war, während die andere Hälfte, von einer beweglichen Scheibe getragen, diese umdrehte, indem sie ihre Pole wechselten. Das Boot fuhr mit einer Bemannung von 12 Mann gegen Strom und Wind mehrere Stunden lang. Die Kraft, mit welcher die Maschine arbeitete, kam einer Pferdekraft nahe.

Wagner fertigte einen kleinen Wagen, der, durch eine elektromagnetische Maschine getrieben, einen andern, mit 30 Klgr. belasteten Wagen auf einer runden Holzplatte von 2 M. Durchmesser mehrere Stunden lang im Kreise herumführte; die Leistung der Maschine kam nur dem achtzigsten Theil einer Pferdekraft gleich. — Später jedoch hat ein Schotte Rittechie eine Locomotive erbaut, deren Leistung das Vierfache einer Pferdekraft betrug. Was der Anwendung elektromagnetischer Kraftmaschinen besonders im Wege steht, sind die bedeutenden, durch die Consumtion von Zink und Salpetersäure verursachten Unterhaltungskosten der Batterie, welche unvergleichlich höher sind, als der Preis des für eine Dampfmaschine erforderlichen Brennmaterials. Und wenn es auch gelungen ist, durch Einbringen anderer Stoffe in die Säuren der Batterie kostbare Nebenprodukte zu erzielen, so ist doch dem Uebelstande noch nicht abgeholfen, daß die Elektromagnete ihre große Kraft nur in nächster Nähe äußern, und bei einiger Entfernung des Ankers ihre Leistung auf ein Geringes hinabsinkt.

3. Durch Anwendung des Elektromagnetismus wird auch die Aufgabe gelöst, die Uhren eines Ortes in gleichem Gange zu erhalten. **Die elektrischen Uhren,** deren Gang durch eine Normaluhr bestimmt wird, haben weder Gewichte, noch die gewöhnlichen Uhrfedern, auch keine Pendel, und sind daher weniger zusammengesetzt, als andere Uhren. Vor den Polen eines Elektromagnets EE hängt an einem biegsamen Metallstreifen der eiserne Anker A; an denselben ist ein Hemmungshaken b befestigt; eine Spiralfeder F entfernt den Anker von den Magnetpolen. Der Hemmungshaken b greift in ein Steigrad mit 60 Zähnen g, das sich in einer Minute einmal umdrehen soll. Wird der Strom hergestellt, so zieht der Elektromagnet seinen Anker A an, und der Hemmungshaken b gleitet (nach rechts) über einen Zahn des Rades weg und fällt, während der Sperrhaken d ein Rückwärtsgehen des Rades verhindert, in die nächste Zahnlücke ein. Wird der Strom unterbrochen, und der Elektromagnet unmagnetisch, so zieht die Feder F den Haken b nach links, und zwar um den sechzigsten Theil des Radkranzes, so daß nach 60 Herstellungen und Unterbrechungen des Stroms das Rad einen ganzen Umlauf vollendet hat. Die Herstellungen und Unterbrechungen des Stroms führt die Normaluhr, eine gut gehende Pendeluhr, durch folgende Hülfsvorrichtung aus, die für das bürgerliche Leben ausreichende Genauigkeit gewährt. Das Pendel ik der in irgend einem Gebäude aufgestellten Normaluhr hat über seiner Linse eine Verstärkung von Platin, und in wagerechter Linie

damit sind zu beiden Seiten zwei Federn n und m angebracht, welche Plättchen von Platin tragen. Schlägt das Sekundenpendel ik gegen eines dieser Plättchen, so wird der Strom hergestellt. Er nimmt seinen Weg von der Batterie BB aus durch Leitungsdrähte som (son) zu einer der kleinen Platten und geht aufs Pendel und den biegsamen Metallstreifen bei i über, an dem das Pendel hängt; vom Aufhängepunkt des Pendels führt ein Leitungsdraht zw nach dem Thurm oder Privatgebäude, in dem eine der elektrischen Uhren aufgestellt ist, zu den Windungen des Elektromagnets EE; dieselben durchläuft der Strom und kehrt durch einen andern Draht vut zur Batterie BB zurück. In jeder Minute unterbricht die Normaluhr den Strom 60 Mal; an das Rad g der elektrischen Uhren kann ein Sekundenzeiger befestigt, und von dem Rade, wie bei andern Uhren, die Bewegung auf andere Räder so übertragen werden, daß mit denselben ein Minuten- und ein Sekundenzeiger umläuft.

Fig. 278.



Physiologische Wirkungen des galvanischen Stroms.

§. 225. Wirkungen eines Elements und der Volta'schen Säule.

Unter den Wirkungen des galvanischen Stroms auf den menschlichen Körper lassen sich die den Geschmack und das Gesicht betreffenden durch eine einfache Kette hervorrufen.

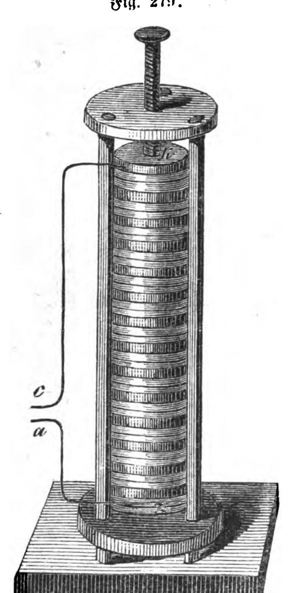
Versuch a. Ein fingerbreiter, 20 Cm. langer Streifen Zinkblech wird auf beiden Seiten an seinen Enden mit einem Messer blank geschabt und mit einem Tuche gereinigt; darauf biegt man das eine Ende zu einem Bogen. Hält man nun mit einer Hand, die nicht feucht sein darf, einen kleinen silbernen Löffel gegen den umgebogenen Zinkstreifen und bringt sein anderes Ende auf die feuchte Unterlippe, den Löffel aber auf die Zunge, so hat man einen beißenden Geschmack, der laugenartig

erscheint. Dreht man die Vorrichtung und bringt das Silber mit der Lippe, das Zink mit der oberen Fläche der Zunge in Berührung, so empfindet die Zunge einen entschieden sauren Geschmack, welcher aufhört, wenn man die Metalle trennt.

Versuch b. Während man den Zinkstreifen mit den Lippen hält, bringt man den silbernen Löffel an eine mit Wasser benetzte Stelle der Stirn über dem Auge oder an das befeuchtete Augenlid. So oft dann beide Metalle in Berührung gesetzt werden, bemerkt man, besonders im Finstern, vor den Augen einen Lichtschein, der nach der Reizbarkeit der Nerven schwächer oder stärker ausfällt und von Manchen schwer wahrgenommen wird.

Die galvanische Erschütterung und die Volta'sche Säule. Eine einzelne Kette bringt keine Erschütterung hervor, weil der menschliche Körper bei der geringen Spannung der galvanischen Elektricität zu schlecht leitet; sie tritt bei einer zusammengesetzten Kette aus 50 bis 100 Elementen ein und wird leicht durch die älteste zusammengesetzte Kette, die 1800 von Volta erfundene Volta'sche Säule, erhalten.

Fig. 279.



Volta fand bei Anstellung seines Grundversuchs, daß das Kupfer negativ elektrisch geworden war. Als er aber die Zinkplatte an den kupfernen Deckel seines Elektrometers brachte, schien sie auch negative Elektricität zu haben. Das Kupfer des Elektrometers war mit dem Zink, also mit einem anderen Metalle, in Berührung, und dabei mußten das Kupfer und die Goldblättchen negative Elektricität zeigen. Die positive Elektricität des Zinks ließ sich deshalb nicht am Elektrometer nachweisen. Darüber nachsinnend, riß Volta von einer römischen Zeitung, die er las, eine Ecke ab und führte sie ohne Absicht an die Lippen. Plötzlich brachte er diese nasse Papierscheibe in Gedanken mit seinem Versuch in Zusammenhang, legte eine feuchte Scheibe auf sein Elektrometer und brachte das Zink heran, und nun wurde die positive Elektricität des Zinks sichtbar. Daraus schloß er, daß eine feuchte Papierscheibe die Elektricität des Zinks zu einer zweiten Kupferplatte weiter leiten könne und nannte die Scheibe den feuchten Leiter. Er schichtete Kupfer, Zink und den feuchten Leiter in regelmäßiger Wiederkehr auf einander, so daß das Ganze das Ansehen einer Säule hatte. Eine so aufgebaute Säule von 100 Elementen stand einmal schief und drohte umzufallen; um sie zu richten, berührte Volta mit der einen Hand die unterste, mit der anderen die oberste Metallplatte und fand dabei die galvanische Erschütterung. Volta hat den Dienst der feuchten Scheibe nicht vollständig erkannt; sie ist nicht

bloß Leiter, sondern Erreger der Elektricität. Wir bauen daher die Säule jetzt anders auf, indem wir auf Zink die Flüssigkeit der Scheibe und dann das Kupfer folgen lassen. In der hier zuletzt angegebenen Form nennt man diese galvanische Säule die französisch aufgebaute Volta'sche Säule.

Man schneidet aus Kupfer- und aus Zinkblech etwa 60 runde oder viereckige Platten, die an Umfang unter einander gleich sind und 2 bis 10 Cm. im Durchmesser haben können, und läßt an eine Zinkplatte und an eine Kupferplatte als Schließungsdrähte Kupferdraht anlöthen. Ein einfaches galvanisches Element besteht nach §. 203 aus Kupfer, einer Flüssigkeit und Zink. Zur Aufnahme der Flüssigkeit dienen Scheiben von Tuch, die man etwas kleiner, als die Metallplatten, geschnitten und mehrere Stunden lang hat in Essig oder in verdünnter Schwefelsäure liegen lassen, in der auf 20 Theile Wasser 1 Theil Säure kommt. Der Aufbau geschieht in einem Gestell, das aus drei auf einem Brette lothrecht stehenden und in solcher Entfernung von einander befestigten Stäben besteht, daß die Platten gerade zwischen ihnen liegen können. Gemäß der ersten in §. 203 dargestellten Grundform eines galvanischen Elements legt man unten die Zinkplatte mit dem Schließungsdraht, darauf die mit Flüssigkeit getränkte Scheibe und dann eine Kupferplatte. Hierauf wird das zweite Element, Zink, Flüssigkeit und Kupfer gelegt, und genau in derselben Reihenfolge die folgenden Elemente darüber geschichtet. Bei dieser säulenartigen Anordnung fallen die Schließungsdrähte weg, welche sonst ein Element mit dem andern verbinden, und die Kupferplatte jedes Elements berührt unmittelbar die darauf gelegte Zinkplatte des folgenden Elements. Oben schließt die Säule mit der Kupferplatte, an die der Schließungsdraht gelöthet ist; man legt noch ein Gewicht auf, um die Flüssigkeit mit den Platten in innige Berührung zu bringen.

Die positive Elektricität der Kupferplatte in dem ersten Element wird durch die darüber liegende Zinkplatte und die Flüssigkeit zur Kupferplatte des zweiten Elements geleitet und zu ihr hinzugefügt; sie begiebt sich weiter und häuft sich, durch die Elektricität der Kupferplatten in den folgenden Elementen vermehrt, in der obersten Kupferplatte und ihrem Schließungsdrahte an. Dasselbe gilt von der negativen Elektricität, die sich nach der getroffenen Anordnung, wie bei einer einfachen Kette, doch mit stärkerer Spannung, auf der untersten Zinkplatte und ihrem Schließungsdraht ansammelt. Wie jede andere Batterie, vermag die Volta'sche Säule die Elektricitäten durch schlechtere Leiter hindurchzudrängen. Berührt man daher mit der einen, durch Wasser angefeuchteten Hand den einen Schließungsdraht, mit den andern den zweiten Schließungsdraht, so nimmt der galvanische Strom seinen Weg durch den menschlichen Körper, und man empfindet eine schwache Erschütterung, besonders in den Handgelenken. Um die Leitung besser herzustellen, nimmt man größere Metallstücke, etwa Löffel, in die benetzten Hände und berührt damit die Schließungsdrähte, oder man löthet zu Cylindern zusammengebogene Messingbleche als Handgriffe an die Schließungsdrähte und nimmt sie in die Hände.

Die galvanische Erschütterung tritt ein, sobald man mit beiden Händen die Leitung herstellt, und wieder, wenn man die eine Hand losläßt und dadurch den Strom unterbricht. Durch Herstellen und Unterbrechen des Stroms kann man daher eine Reihenfolge von Erschütterungen bewirken.

Seit der Entdeckung des Galvanismus sind zahlreiche Versuche über die medicinische Wirksamkeit desselben angestellt, und hin und wieder Lähmungen und Rheumatismen mit glücklichem Erfolge behandelt. Man hat dabei die Volta'sche Säule nebst einem Stromunterbrecher, später Batterien aus 50 constanten Ketten oder Inductionsapparate (§. 226) angewandt.

Leicht kann man sich aus 50 bis 70 blank gescheuerten Pfennigen und ebenso großen Stückchen Zinkblech, zwischen denen in verdünnte Schwefelsäure getauchte Tuchscheiben liegen, eine Volta'sche Säule aufbauen und die galvanische Erschütterung zeigen. Einen zweckmäßigen Stromunterbrecher stellt man sich auf folgende Weise her. Man biegt das Ende des einen Schließungsdrahtes zu einem Ring zusammen und bildet aus dünnem Messingdraht, indem man denselben um einen Bleistift wickelt und nachher herunterschiebt, eine leichtbewegliche Spiralfeder. Die Spirale wird unten an den einen Handgriff gehängt oder gelöthet und so gehalten, daß ihr unteres Ende innerhalb des Ringes schwebt. Eine geringe Bewegung der Hand hat zur Folge, daß die Spiralfeder den Ring berührt und sich sogleich wieder von ihm entfernt und auf diese Weise den Strom herstellt und unterbricht. Die Volta'sche Säule kann man auch auf zwei wagerechte Stäbe legen. Sie bewirkt den Lichtschein §. 225 b. sehr deutlich. Man hält in der einen Hand den einen Handgriff und läßt sich von einem Anderen den anderen Handgriff an die befeuchtete Stirn bringen. Die Zersetzung von Jodkalium §. 210. gelingt mit Hülfe der Säule ebenfalls. Man vereinfache ferner den Wasserzersetzungsapparat §. 211, indem man die Cylinder fortläßt. Statt des Trichters kann man eine kurze Glasröhre nehmen, unten die sich nicht berührenden Platindrähte einkitten und ihre vorstehenden Enden mit den Drähten der Säule berühren. Aus dem Wasser in der Röhre werden sogleich Gasbläschen aufsteigen. Nach dem Gebrauch nimmt man die Säule sogleich aus einander, legt die Platten in eine Schüssel mit Wasser, und reinigt sie mit Streusand.

(Thierische Elektricität. Die Elektricität erregt die Muskeln und Nerven des thierischen und menschlichen Körpers. Umgekehrt giebt es Elektricität, welche durch die thierische Lebensthätigkeit erregt und thierische Elektricität genannt wird. Es sind nicht bloß einzelne Fische, der Zitteral, der Zitterwels und der Zitterrochen, im Stande, elektrische Schläge zu ertheilen; sondern Du Bois-Reymond hat 1850 durch höchst empfindliche Multiplicatoren mit 1000 M. langen Drähten nachgewiesen, daß sich in allen Theilen des Muskel- und Nervensystems bei Menschen und Thieren sehr schwache elektrische Ströme finden. Diese Ströme, welche durch die ruhenden Muskeln

und Nerven fließen, werden schwächer, wenn wir die Muskeln anspannen oder die Nerven in Thätigkeit treten.)

§. 226. Die Inductionselektricität.

Als Gesetz der elektrischen Vertheilung gilt nach §. 172, daß jeder elektrische Körper in seiner Nähe ein Herbeiströmen der entgegengesetzten Elektricität bewirkt. Ein galvanischer Strom muß daher in einem nahen Leiter einen Strom entgegengesetzter Elektricität hervorbringen. Die Elektricität, welche durch die Nähe eines galvanischen Stroms hervorgerufen wird, heißt Inductionselektricität.

Um eine hohle Rolle von Holz, welche 8 bis 14 Cm. lang und 2 Cm. weit ist, a in Figur 280, wird ein besponnener Kupferdraht von 33 M. Länge und 0,75 oder 1 Mm. Metalldicke gewickelt. Durch den Draht dieser Rolle soll von der galvanischen Kette aus der Strom geleitet werden; die Rolle heißt die Hauptrolle, ihr Draht der Hauptdraht; der Strom der Kette, der durch seine Windungen fließt, der Hauptstrom oder der inducirende Strom.

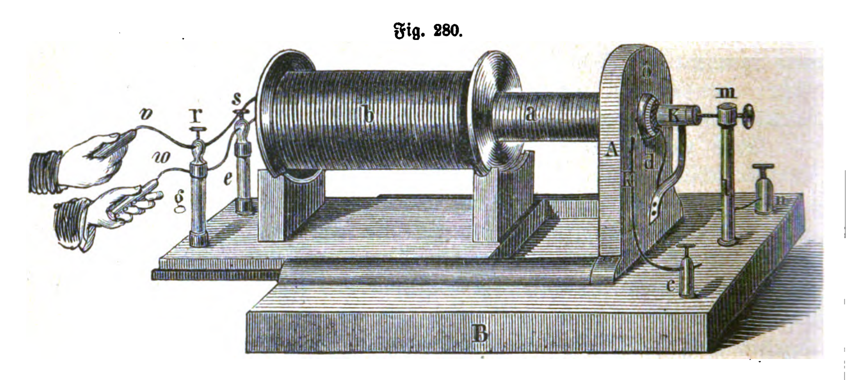
Eine zweite Rolle b, ebenfalls mit vorstehenden Rändern, hat mit der ersten Rolle gleiche Länge und eine solche Weite, daß sie sich bequem, ohne Reibung, aber auch ohne daß ein zu großer Zwischenraum bleibt, über die Hauptrolle schieben läßt. Um diese Rolle wird ein 100 oder mehr M. langer besponnener Draht gewickelt. Man nimmt ihn recht dünn, etwa 0,2 Mm. im Durchmesser; jede Lage von Windungen wird mit Schellackfirniß überstrichen, der erst trocknen muß, ehe man die folgende Lage von Windungen anbringt. Die zweite Rolle b heißt die Nebenrolle, ihr Draht der Nebendraht. v und w sind seine Enden. (Am billigsten bezieht man die Drähte aus einer Fabrik besponnener Telegraphendrähte. Nach dem Katalog der Manufactur physikalischer Apparate von Warmbrunn, Quilitz und Co. zu Berlin, Rosenthaler Straße 40, kostet von 0,75 Mm. dickem, mit Baumwolle doppelt besponnenem Kupferdraht das halbe Klgr. (= 165 M.) 6 Mark; 33 M. kosten daher 1,20 Mark. Ferner kostet von dem 0,2 Mm. dicken, einfach mit Seide besponnenem Kupferdraht das halbe Klgr. (= 1600 M.) 16 Mark; 200 M. davon kosten daher 2 Mark.)

Verbindet man die Enden des Nebendrahtes mit einem Multiplicator, so erfolgt ein Ausschlag der Magnetnadel in dem Augenblick, in welchem der Strom einer constanten Kette durch den Hauptdraht geleitet wird; darauf kehrt die Magnetnadel in ihre frühere Stellung zurück, auch während der Strom im Hauptdraht fortdauert. Unterbricht man den Hauptstrom, so erfolgt ein Ausschlag der Magnetnadel nach der entgegengesetzten Seite. Daraus, daß der Ausschlag der Multiplicatornadel nur einen Augenblick dauert oder momentan ist, folgt, daß auch die inducirten Ströme nur momentan sind oder sehr kurze Dauer haben. Zweitens ergiebt sich aus den zwei Ausschlägen der

Nadel, daß durch Herstellung des inducirenden Stroms ein inducirter Strom in dem Nebendraht erregt wird, und daß dasselbe der Fall ist bei Unterbrechung des inducirenden Stroms. Drittens folgt aus der Richtung, nach welcher die Magnetnadel sich bewegt, daß bei Herstellung des Hauptstroms den Nebendraht ein Strom entgegengesetzter Elektricität oder, was dasselbe ist, ein Strom in entgegengesetzter Richtung durchläuft, bei Unterbrechung des Stroms aber ein inducirter Strom in derselben Richtung mit dem inducirenden Strom.

Außer der magnetischen Wirkung hat die Inductionselektricität beträchtliche Wirkungen auf den menschlichen Körper. Man befestigt an die Enden v und w des Nebendrahtes messingene Handgriffe und nimmt sie in die angefeuchteten Hände. Läßt man durch eine andere Person den Strom in der Hauptrolle herstellen und unterbrechen,

Fig. 280.



so empfindet man jedesmal die galvanische Erschütterung. Dieselbe wird desto stärker, je stärker der Strom der constanten Kette, je länger der Draht der Nebenrolle ist, und je schneller die Unterbrechungen des Hauptstroms erfolgen. In dem dargestellten **Inductionsapparat** für Wirkungen auf den menschlichen Körper läßt sich die Nebenrolle b beliebig stellen; in der gezeichneten Stellung wirkt nur ein Theil der Hauptrolle a, der inducirte Strom ist daher schwach; ist die Rolle b ganz über a geschoben, so wirkt der ganze Hauptdraht auf den Nebendraht, der inducirte Strom oder Nebenstrom ist daher stärker.

Ferner wird die Wirkung dadurch verstärkt, daß man die Höhlung der Hauptrolle durch ein Bündel von eisernen Drähten ausfüllt. Dieselben werden bei Herstellung des Stroms magnetisch, bei Unterbrechung des Stroms unmagnetisch und rufen Ströme hervor, wie ein Magnet, wenn man ihn nähert oder entfernt; siehe §. 227.

Zu einem vollständigen Inductionsapparat gehört, weil die inducirten Ströme nur bei Herstellung und Unterbrechung des inducirenden Stroms entstehen, noch eine Vorrichtung, die den Strom oft herstellt und unterbricht. Dazu dient **der elektromagnetische Hammer.** Ein

eiserner Hammer K wird von einem federnden Messingstreifen so getragen, daß er sich leicht nach rechts und links bewegen kann; auf der rechten Seite ist an ihn ein kleines Platinblech gelöthet; mit demselben berührt er die metallene Schraube m, deren Spitze zur Herstellung einer sicheren Leitung ebenfalls aus Platin gearbeitet wird. Die Schraube m wird von dem messingenen Ständer l getragen, und dieser ist durch einen Draht mit der Klemmschraube n verbunden. Zur Linken des eisernen Hammers K ragt aus der Hauptrolle a das Bündel eiserner Drähte hervor; sie werden magnetisch, wenn der Strom der Hauptrolle hergestellt ist. Werden die beiden Schließungsdrähte einer constanten Kette in die Klemmschrauben n und c befestigt, so durchläuft der Strom von c aus zuerst die Windungen der Rolle a, gelangt von dem Ende derselben, dem Drahte d, zu dem federnden Stiel und dem Kopf des Hammers K, tritt von hier zur Schraube m über und kehrt durch den Ständer l und die Klemmschraube n zur galvanischen Kette zurück. Ist auf diese Weise der Strom hergestellt, so werden die Eisendrähte in der Rolle a magnetisch, ziehen den Hammer an und entfernen ihn von der Schraube m. Dadurch wird der Strom unterbrochen. Durch die Unterbrechung werden die Eisendrähte unmagnetisch; der federnde Stiel entfernt den Hammer K von ihnen, bringt ihn mit der Schraube m in Berührung und stellt den Strom wieder her. Darum bleibt der Hammer dauernd in hämmernder Bewegung, und an der Unterbrechungsstelle zwischen K und m zeigen sich fortwährend galvanische Funken.

Man hat größere Inductionsapparate angefertigt und **Funkeninductoren** oder nach ihrem ersten Verfertiger, seit 1851, **Ruhmkorff'sche Apparate** genannt. Bei ihnen befindet sich die Hauptrolle innerhalb einer starken Glasröhre; die nicht verschiebbare Nebenrolle ist auf diese Glasröhre gewickelt; zur besseren Isolirung wird jede Lage der Windungen mit Schellackfirniß überstrichen und von der folgenden Lage durch gefirnißtes Papier getrennt. Die Drahtenden der Nebenrolle gehen durch kleine Glasröhren. Der Draht der Nebenrolle ist über 1000 M. lang; an größeren Apparaten giebt man ihm eine Länge von mehr, als 8 Kilometer. Die physiologischen Wirkungen eines solchen Apparats sind verderblicher Art. Wichtig aber sind die Licht- und Wärmeerscheinungen zwischen den Enden des Nebendrahtes. Zwischen ihnen springen Funken über, die einen größeren Zwischenraum durchbrechen; sie bieten ferner schöne Lichterscheinungen im luftleeren Raume. Um dieselben zu beobachten, wendet man Geißlersche Röhren an, d. h., fast luftleere Glasröhren, in deren beide Enden Platindrähte eingeschmolzen sind; der in solchen Röhren durch den inducirten Strom hervorgebrachte Lichtschein ist sehr mannichfaltig, je nachdem die Röhre verdünnte atmosphärische Luft oder geringe Mengen von Wasserstoff, Quecksilberdampf, Alkoholdampf oder Terpentinöldampf enthält. Dünnere Eisendrähte zwischen den Enden des Nebendrahts werden glühend, weshalb die Funkeninductoren zum Sprengen von Minen geeignet sind. Wo mehrere Gasflammen gleichzeitig angezündet werden sollen, kann es durch die überspringenden Funken

solcher Apparate geschehen. Die Drahtenden zeigen auch die Erscheinungen elektrischer Abstoßung an einem Vertheilungselektrometer, oft sogar an dem gewöhnlichen Goldblättchenelektrometer.

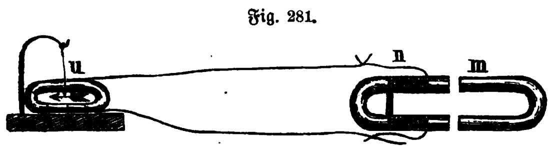
Magnetelektrische Erscheinungen.

§. 227. Erregung der Magnetelektricität.

Unter Magnetelektricität versteht man die elektrischen Ströme, welche durch einen Magnet hervorgerufen werden. Wie das Magnetischwerden des Eisenkerns an einem Elektromagnet lehrt, ist Eisen dann magnetisch, wenn es von galvanischen Strömen umkreist wird. Daraus schloß Faraday zu London, der im Jahre 1831 die Magnetelektricität entdeckte, daß, wenn es keine andere Ursache des Magnetismus gebe, ein Stahlmagnet ein solches hartes Eisen sei, das beständig von galvanischen Strömen umkreist werde. Er bediente sich einer hohlen Röhre aus Pappe; um dieselbe war in vielen Windungen ein besponnener Kupferdraht gewickelt und mit den beiden Drahtenden eines fern stehenden Multiplicators durch angeschraubte Zwischendrähte in leitende Verbindung gebracht; und siehe, in demselben Augenblick, als Faraday in die Drahtrolle einen starken Stahlmagnet legte, wurde die Magnetnadel abgelenkt, kehrte aber dann in ihre frühere Stellung zurück und zeigte dadurch an, daß der durch den Magnet erregte Strom kurze Zeit gedauert hatte. Beim Herausnehmen des Magnets wurde die Nadel von Neuem, und zwar nach entgegengesetzter Richtung, abgelenkt; es war also ein Strom mit entgegengesetzter Richtung erregt. In einer ununterbrochenen Leitung werden folglich sowohl durch Annäherung, als durch Entfernung eines Magnets elektrische Ströme erregt.

Nun wird weiches Eisen durch Annäherung eines Magnets in Folge der magnetischen Vertheilung (§. 137) magnetisch und bei der Entfernung des Magnets wieder unmagnetisch. Ist das Eisen gleich einem Elektromagnet mit Draht umwickelt, so wird es bei Annäherung eines Stahlmagnets innerhalb der Windungen plötzlich zu einem Magnet, da die natürlichen Magnetismen des Eisens vertheilt werden; die Wirkung muß derjenigen ähnlich sein, die beim Hineinlegen eines Stahlmagnets in die Windungen erfolgt, und sie werden von einem magnetelektrischen Strom durchlaufen.

Fig. 281.



Versuch. Die beiden Enden des um einen Elektromagnet (§. 218) gewundenen Kupferdrahts verbinde man durch zwei Messing- oder Kupferdrähte, die 2 bis 3 M. Länge haben, und durch Klemmschrauben mit den Enden des §. 216 beschriebenen Multiplicators.

Darauf nähere man die Pole eines nicht zu schwachen Stahlmagnets schnell den Polen des Elektromagnets. Die Nadel des Multiplicators zeigt den momentanen magnetelektrischen Strom an, indem sie einen Ausschlag giebt und in ihre Ruhelage zurückkehrt. Reißt man den Stahlmagnet von dem Elektromagnet los, so erfolgt ein Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite.

§. 228. Die Magnetelektrisirmaschine.

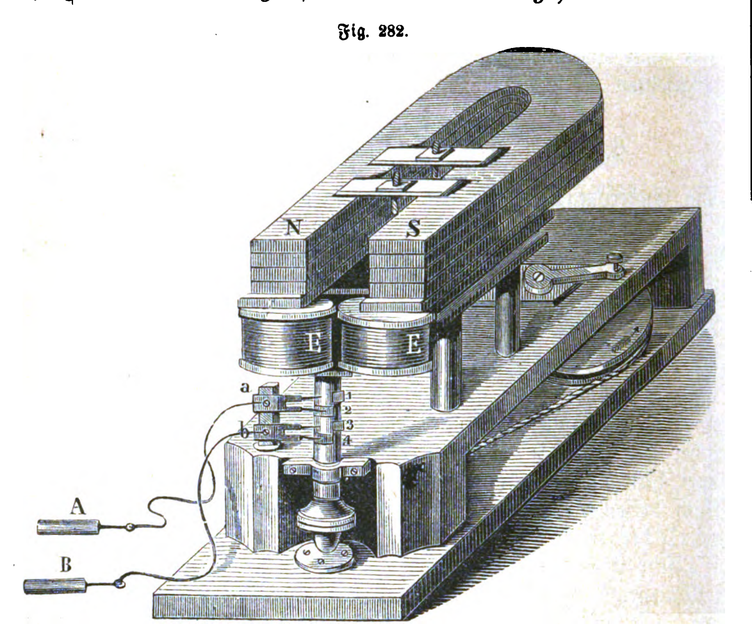
Ein Elektromagnet und ein Stahlmagnet können dadurch schnell einander genähert und von einander entfernt werden, daß man einen von beiden an eine Axe befestigt und vor den Polen des andern in drehende Bewegung setzt. Kommt der eine Pol des Elektromagnets dem Nordpol des Stahlmagnets nahe, so entsteht in den Windungen ein magnetelektrischer Strom; so lange er sich vom Nordpol entfernt und dem Südpol nähert, wird ein Strom in entgegengesetzter Richtung erregt. Bei jeder ganzen Umdrehung entstehen zwei Ströme, von denen der zweite da aus den Windungen austritt, wo der erste in sie eingetreten ist; will man daher Ströme von derselben Richtung erhalten, so muß ihre Richtung nach einer halben Umdrehung durch einen Commutator geändert werden.

Nach diesen Grundsätzen sind die Magnetelektrisirmaschinen oder magnetelektrischen Rotationsapparate eingerichtet. Auf einem kleinen Tische liegt ein magnetisches Magazin (§. 145) aus fünf bis neun starken Magneten, von denen die Pole des untersten vor den übrigen hervorragen. Unter seinen Polen befindet sich ein Elektromagnet; er besteht aus zwei umwundenen Eisenkernen E mit nach oben gekehrten Polen, die statt der Krümmung durch eine wagerechte Eisenplatte unterwärts verbunden sind. Dieser Elektromagnet ist an eine lothrechte eiserne Axe befestigt, die durch eine Schnur ohne Ende (§. 49) schnell gedreht werden kann. Bei jeder halben Umdrehung kommen die Pole des Elektromagnets in die Nähe entgegengesetzter Magnetpole, und es entstehen Ströme von entgegengesetzter Richtung, die commutirt werden müssen.

Der zu diesem Zwecke von Stöhrer angegebene Commutator besteht aus vier halbkreisförmigen Ringen, die sammt der Axe sich umdrehen, und zwei Federn, die von einer hölzernen Säule getragen werden. Unmittelbar über die Axe des Elektromagnets ist eine sie zur Hälfte umschließende Messingröhre I (in Fig. 283) geschoben, und nachher zwei halbkreisförmige Stahlringe 1 und 4 an das obere und das untere Ende der Halbröhre so aufgelöthet, daß sie ihre Stelle auf den entgegengesetzten Seiten der Axe erhalten. Um die Halbröhre I wird ein hohler Cylinder aus Buchsbaum oder Elfenbein gelegt, und über diesen wird eine zweite, kürzere messingene Halbröhre R mit den ähnlich geordneten, aber den nahen Ringen der ersten Halbröhre fast gegenüberliegenden Halbringen 2 und 3 getrieben. Der Draht von der rechten Hälfte des Elektromagnets ist an die Halbröhre I, von seiner linken Hälfte an die Röhre R gelöthet. Keine der Halbröhren ist mit der andern leitend verbunden; aber ein

Strom, der zu der Röhre R gelangt, kann seinen Weg sowohl über den Ring 2, als über 3 nehmen, und eben so kann ein Strom von der Röhre I eben so gut über den Ring 1, als über 4 weiter gehen.

Fig. 282.



Die elektrischen Ströme werden von den beiden flachen *Stahlfedern* a und b (in Fig. 282 und 284) aufgenommen, welche gabelförmig in zwei Zinken gespalten sind und mit denselben auf den Halbringen des Commutators schleifen; stets berührt eine Zinke der einen und eine der anderen Feder einen der Ringe. In der Stellung, welche die Zeichnungen 282 und 284 I darstellen, schleift die untere Zinke von a auf dem zweiten

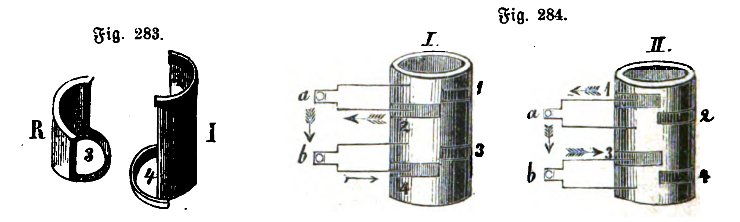


Fig. 283. Fig. 284.

Ringe, und die untere Zinke der andern Feder b auf 4, während die oberen Zinken den Commutator gar nicht berühren. Werden nun die an die Federn a und b gelötheten Drähte oder ihre messingenen Handgriffe A und B an einander gedrückt, und so eine ununterbrochene Leitung hergestellt, so nimmt ein von der *linken* Hälfte des Elektromagnets kommender positiver Strom folgenden Weg: Er geht vom Umwickelungsdraht zu dem

Ringe 2, durch die untere Zinke zur Feder a und dem Handgriff A; hier geht er zum Handgriff B über, zur Feder b, dem vierten Ringe und der rechten Hälfte des Elektromagnets. Nach einer halben Umdrehung kommt von der rechten Hälfte des Elektromagnets ein positiver Strom; nun aber schleifen, wie die Zeichnung 284 II zeigt, die oberen Zinken auf den Ringen, und die Ringe 1 und 3 sind unter sie getreten; der Strom geht vom Ringe 1 zur Feder a und durch die Leitung nach b. Der Commutator bewirkt daher, daß eine a und b verbindende Leitung stets in derselben Richtung von den positiven Strömen durchflossen wird.

In dem Augenblick, in welchem eine Zinke ihren Stahlring verläßt, wird der Strom unterbrochen, wobei lebhafte Funken erscheinen. Werden die von a und b ausgehenden Drähte an einen Wasserzersetzungsapparat geschraubt, so wird das Wasser zersetzt; Platindraht wird glühend, und ein Elektromagnet magnetisch, wenn sein Umwickelungsdraht mit beiden Federn leitend verbunden ist. Erfaßt man mit den Händen die Handgriffe A und B, so erhält man bei den Unterbrechungen des Stroms Erschütterungen; sie folgen desto schneller auf einander, je schneller die Maschine gedreht wird, und scheinen ein Oeffnen der sich krampfhaft schließenden Hände unmöglich zu machen. Die kleinsten Magneteleктrisirmaschinen haben einen Preis von 75 Mark. In großem Maßstab gebaute Magnetelektrisirmaschinen finden auf Leuchtthürmen Anwendung, um das elektrische Kohlenlicht hervorzubringen; magnetelektrische Apparate werden auch zum Sprengen von Minen angewandt; desgleichen zum Telegraphiren.

Im Jahre 1867 hat Siemens zu Berlin einen magnetelektrischen Rotationsapparat, die **dynamo-elektrische Maschine**, erfunden, in welcher an Stelle des Stahlmagnets ein Elektromagnet angebracht ist. Wenn nämlich die Drahtwindungen eines Elektromagnets von Elektricität durchströmt werden, und dann die Leitung unterbrochen wird, so verliert der Elektromagnet seinen Magnetismus, aber nicht vollständig. Vielmehr behält er schwache magnetische Kraft, und dieser zurückbleibende, remanente Magnetismus eines Elektromagnets ist es, der in der dynamo-elektrischen Maschine zur Erregung kräftiger Ströme benutzt wird. In derselben ist ein großer Elektromagnet, dessen Arme die Form breiter Platten haben, angebracht; durch seine Drahtwindungen ist einmal der Strom einer galvanischen Kette geleitet, und dadurch bewirkt worden, daß nach Entfernung der Kette schwacher Magnetismus in dem Elektromagnet zurückbleibt. Zwischen den Polen des Elektromagnets läßt sich mit Hülfe einer Handkurbel und einer Schnur ohne Ende ein cylinderförmiger, eiserner Anker in schnelle Umdrehung setzen. Der Anker ist mit zwei besponnenen Drähten umwickelt; die Enden des kürzeren Drahtes stehen in leitender Verbindung mit den Drahtenden des Elektromagnets; die Enden des längeren Drahtes werden leitend mit dem Körper verbunden, durch den man die Elektricität strömen lassen will. Der schwache remanente Magnetismus des Elektromagnets erregt in den Umwindungsdrähten des Ankers, wenn derselbe in Umdrehung gesetzt wird, anfänglich nur schwache Ströme; aber die in dem kürzeren Draht des Ankers entstehenden Ströme

umkreisen, weil die Leitung so eingerichtet ist, den Elektromagnet und verstärken seinen Magnetismus. Der kräftiger magnetisch gewordene Eisenkern des Elektromagnets ruft stärkere Ströme in den Umwindungsdrähten des Ankers hervor; aus dem kürzeren Draht desselben nehmen diese Ströme ihren Weg immer wieder durch die Windungen des Elektromagnets und verstärken seinen Magnetismus bei fortgesetztem Drehen des Ankers in dem Maße, daß, wenn zwischen den Enden des längeren Ankerdrahtes Kohlen eingeschaltet sind, ein blendendes elektrisches Kohlenlicht hervorgebracht wird.

§. 229. Das Nordlicht.

In den Polargegenden, wo das Eintreten eines Gewitters zu den größten Seltenheiten gehört, ist die Erscheinung eines Nordlichtes so häufig, daß fast jede Winternacht dadurch erleuchtet wird. Gegen Abend steigt nach Norden hin ein lichter Nebel auf und nimmt die Gestalt eines hellleuchtenden Lichtbogens von gelber Farbe an, dessen Enden die Erde zu berühren scheinen. Strahlen und Feuersäulen durchziehen den Bogen, der sich bis zum Scheitelpunkt ausdehnt; fortwährend wechseln sie sowohl ihre Länge als auch ihre Farbe, und zeigen besonders das Roth des Purpurs und das Grün des Smaragds, die in den mannichfachsten Farbentönen durch einander spielen. Oft verlassen die Enden des Lichtbogens die Erde und am Himmel stellt sich ein glänzendes Strahlenband, die sogenannte Krone des Nordlichts, dar, deren Glanz die hellsten Sterne überstrahlt und deren Lichtblitze sich zu einer Krone zusammenflechten. Nach und nach nimmt ihr Glanz ab, und blasse Lichtschimmer bedecken nur noch den südlichen Theil des Himmels.

Die Erscheinung eines Nordlichtes setzt die Magnetnadel in unruhige Schwankungen, und seine Strahlen haben stets die Richtung von dem magnetischen Nordpol als ihrem Ausgangspunkte und Mittelpunkte her; deshalb ist es als eine Wirkung des Erdmagnetismus anzusehen. Zugleich hat es die größte Aehnlichkeit mit dem elektrischen Licht im luftverdünnten Raume, und es könnte nicht so weit sichtbar sein, wenn der Sitz der Erscheinung nicht in den höchsten Schichten der Atmosphäre wäre, wo die Luft sehr dünn ist. Wahrscheinlich wird der magnetische Nordpol der Erde, wie die Pole eines jeden Magnets, von magnetischen Strömen umkreist; diese Elektricität strömt empor und bewirkt in der verdünnten Luft der höheren Regionen das Nordlicht; das Nordlicht scheint daher eine magnetelektrische Erscheinung zu sein.

Thermoëlektrische Erscheinungen.

§. 230. Erregung der Thermoëlektricität.

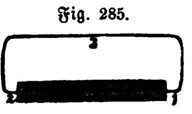
Versuch a. An jedes Drahtende des §. 227 beschriebenen Multiplicators schraubt man mittels einer Klemmschraube §. 218 einen 50 Cm.

langen, 0,6 bis 1 Mm. dicken Kupferdraht. Das freie Ende des einen Drahtes wird spiralförmig zusammengebogen, so daß es eine flache Scheibe bildet, und über einer Spirituslampe bis zur Rothglühhitze erwärmt. Mit dieser erhitzten Stelle bringt man das nicht erwärmte freie Ende des andern Drahtes in Berührung. In demselben Augenblick erfolgt ein Ausschlag der Magnetnadel; durch die ungleiche Erwärmung der verschiedenen Stellen desselben Metalles ist ein elektrischer Strom entstanden.

Versuch b. Deutlicher tritt die Erscheinung hervor, wenn man zwei verschiedene Metalle anwendet. Man schalte zwischen den beiden mit dem Multiplicator verbundenen Kupferdrähten einen 1 Mm. dicken und 20 Cm. langen Eisendraht ein, den man vorher ausgeglüht hat, damit er sich leichter biegen läßt. Das eine Ende des Eisendrahtes schraubt man mittels einer Klemmschraube an den einen Kupferdraht; das andere Ende des Eisendrahtes und das freie Ende des andern Kupferdrahtes biegt man so, daß sie kleine Ringe bilden. Diese werden blank gefeilt. Drückt man nun zwischen zwei Fingern den Ring des Eisendrahtes auf den des Kupferdrahtes, und hält man beide eine Zeit lang fest, so daß durch die Wärme der Hand die sich berührenden Metalle erwärmt werden, so wird die Nadel des Multiplicators, wenn auch nur um einige Grade, doch deutlich wahrnehmbar abgelenkt. Zwei sich berührende Metalle sind an einer Berührungsstelle erwärmt worden, und dadurch ist ein elektrischer Strom erregt worden. Wird die Berührungsstelle stärker erwärmt, so wird der Strom stärker. Man nehme eine Zange, drücke mit derselben die Ringe der beiden Metalle auf einander und erhitze diese Berührungsstelle der Metalle durch eine Spirituslampe. Je mehr die Berührungstelle erwärmt wird, desto mehr sieht man die Multiplicatornadel abgelenkt werden, bis sie einen Ausschlag von 90 Grad giebt. Kühlen sich nach Entfernung der Lampe die Metalle allmählich ab, so kehrt die Nadel allmählich in ihre ursprüngliche Stellung zurück. Die Zange wird entbehrlich, wenn man die Ringe der beiden Drähte an einander schraubt; man läßt sich aus Eisen eine 2 Cm. lange Schraubenspindel machen, die an jedem Ende mit einer Schraubenmutter versehen ist; die Spindel schiebt man durch die beiden Ringe und klemmt sie durch Drehen einer Schraubenmutter an einander fest.

Die durch Wärme hervorgerufene Elektricität wird Thermoelektricität genannt und ist 1821 durch den Berliner Naturforscher Seebeck entdeckt worden. Seebeck brachte Wismuth mit Kupfer in Berührung; als er die Berührungsstelle mit der Hand erwärmte, beobachtete er einen Ausschlag der Magnetnadel. Derselbe Erfolg trat ein, als er Antimon und Kupfer an ihrer Berührungsstelle erwärmte. Fertigt man aus Wismuth und Kupferdraht ein längliches Viereck

Fig. 285.



(Fig. 285), dessen eine Seite die Wismuthstange ausmacht, während der an beiden Enden an dieselbe gelöthete dicke Kupferdraht drei Seiten des Vierecks bildet, so hat man eine Vorrichtung, welche ohne Anwendung des Multiplicators die Thermoelektricität sichtbar macht. Man hält die obere

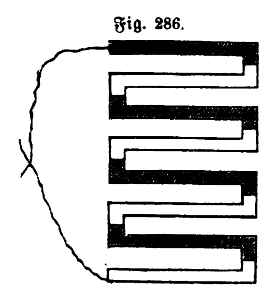
Seite des Vierecks über einer ruhenden Magnetnadel, mit derselben gleichlaufend; erwärmt man eine der Löthstellen 1 und 2 vorsichtig durch ein warmes Metallstück, so wird die Nadel abgelenkt. Noch wirksamer ist eine Zusammenstellung von Wismuth und Antimon. Eine zur Erregung von Thermoelektricität gemachte Zusammenstellung zweier Metalle heißt eine einfache Thermokette oder ein thermoelektrisches Element.

§. 231. Die Thermosäule.

1. Wie man mehrere galvanische Elemente mit einander verbindet und aus ihnen eine galvanische Batterie bildet, so kann man auch mehrere thermoelektrische Elemente mit einander verbinden.

Versuch. Man nimmt 6 Stäbchen aus 1 Mm. dickem Eisendraht und 6 Stäbchen aus 0,6 bis 1 Mm. dickem Kupferdraht (oder Messingdraht); jedes Stäbchen sei 12 Cm. lang und werde an seinen Enden auf eine kurze Strecke rechtwinklig umgebogen. An das eine Ende des ersten Eisenstabes lasse man das eine Ende des ersten Kupferstabes löthen, an das zweite Ende des Kupferstabes den zweiten Eisenstab, an diesen den zweiten Kupferstab, und so folge immer ein Kupferstab auf einen Eisenstab, bis alle 12 an einander befestigt sind. Die Stäbchen berühren sich außer der Löthstelle nirgends; alle sind mit einander gleichlaufend; sechs Löthstellen liegen rechts, und sechs liegen links. An den ersten Eisenstab und an den letzten Kupferstab werden Kupferdrähte gelöthet, welche an die Drahtenden des Multiplicators geschraubt werden. Statt die Stäbchen an einander zu löthen, kann man sie auch (nach §. 218) durch Holzschrauben an einander befestigen. Man biegt alle 12 Stäbe an den Enden so, daß dieselben kleine Ringe bilden und feilt diese blank. Unter die rechts liegende Reihe von Berührungsstellen schiebt man ein vierkantiges, hölzernes Lineal von 15 Cm. Länge; ebenso unter die links liegende Reihe von Berührungsstellen. An jeder Berührungsstelle wird auf das Holz ein durchbohrtes kleines Messingblech gelegt, auf dieses die beiden Ringe der zusammenzufügenden Drähte, darauf ein durchbohrtes Messingblech; eine Holzschraube wird hindurchgeschoben und fest in das Holz eingeschraubt. Auf gleiche Weise werden an den ersten Eisen- und den letzten Kupferstab die Leitungsdrähte befestigt, die bis zum Multiplicator führen. Erwärmt man eine einfache Thermokette mit der Hand, so wird die Nadel des Multiplicators nur um wenige Grade abgelenkt. Legt man aber die Hand auf die sechs rechts befindlichen Berührungsstellen der Metalle, so erfolgt ein größerer Ausschlag der Magnetnadel, und die Ablenkung derselben wächst, während die Metalle wärmer werden, bis 60 Grad und darüber. Legt man die Hand auf die links befindliche Reihe von Berührungsstellen, so tritt eine ebenso große Ablenkung der Nadel in entgegengesetzter Richtung ein. —

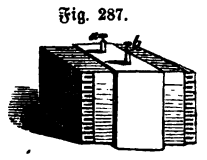
Fig. 286.



Unsere Vorrichtung besteht aus 6 mit einander verbundenen einfachen Thermoketten. Eine Verbindung von mehreren einfachen Thermoketten heißt eine zusammengesetzte Thermokette oder eine Thermosäule.

2. Angewandt wird die Thermosäule zu zweierlei Zwecken, entweder als das empfindlichste Werkzeug zum Messen der Wärme, oder als Ersatz für eine galvanische Batterie. Als das empfindlichste Werkzeug zum Messen der Wärme ist die Thermosäule sammt dem Multiplicator zuerst 1834 durch Nobili in Florenz benutzt worden. Die dazu dienenden Thermosäulen sind aus Wismuth und Antimon; 20—50 Paare von (32 Mm. langen) Stäbchen aus beiden Metallen sind abwechselnd an einander gelöthet, in Form eines Würfels geordnet, und an den ersten Wismuthstab, sowie an den letzten Antimonstab Leitungsdrähte befestigt, welche zu einem Multiplicator führen.

Fig. 287.



Schon durch die geringste Erwärmung oder Abkühlung der auf einer Seite liegenden Löthstellen wird ein Strom erregt und durch die Magnetnadel angezeigt. Eine solche Thermosäule, die in Verbindung mit dem Multiplicator Thermomultiplicator genannt wird, dient daher, um eine äußerst geringe Zunahme oder Abnahme der Wärme zu ermitteln.

Zweitens wendet man Thermosäulen an als Ersatz für galvanische Batterien, um Draht glühend zu machen, zusammengesetzte Flüssigkeiten zu zersetzen, Elektromagnete magnetisch zu machen und Inductionsapparate in Thätigkeit zu setzen. Diese Thermosäulen sind größer und werden aus Legirungen verschiedener Metalle gefertigt. Das eine Metallgemisch kann z. B. aus 65 Gewichtstheilen Kupfer und 31 Theilen Zink bestehen, das andere aus 12 Theilen Antimon und 5 Theilen Zink. Die Stäbe werden durch Schrauben an einander befestigt; die eine Seite von Berührungsstellen wird erhitzt, die andere durch kaltes Wasser abgekühlt. Sechs solcher Elemente zersetzen Wasser, 125 Elemente schmelzen Platindraht.

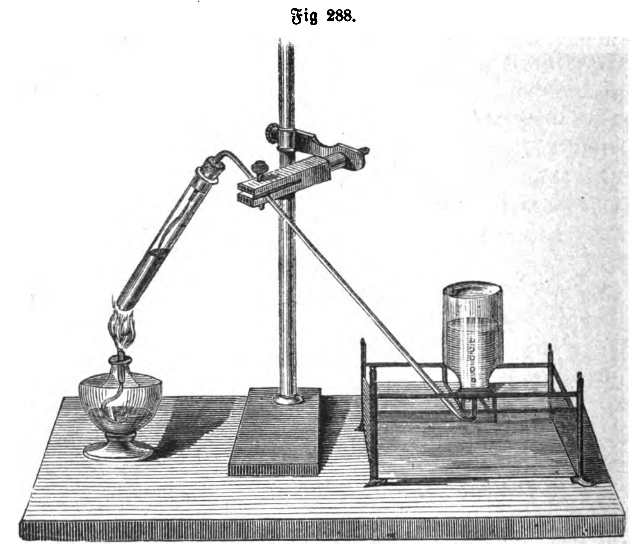
Chemische Erscheinungen.

Der Sauerstoff.

§. 232. Entwicklung des Sauerstoffs.

Versuch. Zur Entwicklung von Sauerstoff beziehe man aus einer Apotheke 6 Gr. rothes Quecksilberoxyd und schütte dasselbe in einen Probircylinder von 15 Cm. Länge. Zuvor hat man einen Kork ausgesucht, welcher den Probircylinder luftdicht verschließt und durch sanftes

Fig 288.



Klopfen (§. 105) weicher gemacht ist. Der Kork wird mit einer runden Feile durchbohrt; die Bohrung muß genau kreisrund und von solcher Weite sein, daß die zum Fortleiten des Sauerstoffs bestimmte gebogene Glasröhre oder Blechröhre sich mit dem einen Ende genau anschließend und mit Reibung hineinschieben läßt. Um die Glasröhre zu tragen,

bedient man sich eines Retortenhalters, oder man behilft sich mit Bindfaden oder Draht, den man durch den Kork einer Weinflasche steckt. Der untere Boden des Probircylinders muß so hoch liegen, daß die Flamme einer darunter gestellten einfachen Spirituslampe ihn umspielt. Die angezündete Lampe bewegt man anfangs mit der Hand hin und her, damit der Cylinder allmählich erwärmt werde.

Da der zu entwickelnde Sauerstoff ein luftförmiger Körper oder, was dasselbe sagt, ein Gas ist, muß man, wie bei allen Gasen, ein besonderes Verfahren anwenden, um ihn in Gefäßen zu sammeln oder ihn aufzufangen. Man füllt eine Schüssel mit Wasser und stellt sie so, daß die untere Oeffnung der Glasröhre unter Wasser kommt und eine Fingerbreite hoch von demselben überdeckt wird. Die Medicingläser oder Probircylinder, in welchen man den Sauerstoff sammeln will, füllt man ganz mit Wasser, hält ihre Oeffnung mit dem Daumen zu und kehrt sie um. Dann bringt man ihre Oeffnung unter den Wasserspiegel in der Schüssel, gerade über die Mündung der Glasröhre, und zieht den Daumen hinweg. Die Gläser bleiben wegen des Drucks der atmosphärischen Luft (§. 110 a) mit Wasser gefüllt. Entweder hält man die Gläser in dieser Stellung mit der Hand, oder man nimmt ein Brettchen, das sich in horizontaler Lage zwischen die gegenüberstehenden Wände der Schüssel klemmen läßt, und durchbohrt es in der Mitte, so daß die Bohrung enger ist, als die darauf zu stellenden Arzneigläser. Noch zweckmäßiger ist es, einen Blechstreifen in der Mitte durchbohren zu lassen und, wie in der Zeichnung, seine Enden aufwärts und dann wieder abwärts zu biegen; das Blech hängt von dem oberen Rande der Schüssel in dieselbe hinab. Eine mit dieser Vorrichtung, der sogenannten Brücke, versehene Schüssel heißt eine pneumatische Wanne. Das Wasser steht eine Fingerbreite über der Brücke, und die Mündung der Glasröhre muß gerade unter die runde Oeffnung der Brücke gebracht werden.

Stellt man nach diesen Vorbereitungen die Lampe unter den Probircylinder mit dem Quecksilberoxyd, so steigen aus der Glasröhre Luftblasen durch das Wasser in das Arzneiglas empor und verdrängen Wasser daraus; es ist das gewöhnliche Luft, die in dem Probircylinder und der Glasröhre enthalten war. Glaubt man, dieselbe, was sich aus Vergleichung der Größe des Probircylinders und des Arzneiglases entnehmen läßt, vollständig aufgefangen zu haben, so nimmt man das erste Medicinglas weg und bringt ein zweites mit Wasser gefülltes an seine Stelle. Die jetzt darin aufsteigenden Luftblasen sind der eine Bestandtheil des Quecksilberoxyds, der Sauerstoff (Oxygenium, kurz bezeichnet mit: O). Zugleich sieht man in dem oberen Theil des Probircylinders sich Metallkügelchen ansetzen; sie bestehen aus Quecksilber, dem zweiten Bestandtheil des Quecksilberoxyds. Das Quecksilberoxyd ist folglich ein zusammengesetzter Körper und ist durch die Wärme in zwei neue Körper, die an Aussehen und an Eigenschaften von ihm ganz verschieden sind, zerlegt worden, in ein Metall und ein Gas. Alle solche Erscheinungen, bei denen neue Körper mit neuen Eigenschaften entstehen,

heißen *chemische Erscheinungen*. Ist das Arzneiglas ganz mit Sauerstoff gefüllt, so verkorkt man es, während seine Oeffnung unter Wasser bleibt, stellt es für die folgenden Versuche bei Seite und bringt statt seiner ein anderes auf die Brücke der Wanne. 6 Gr. rothes Quecksilberoxyd enthalten so viel Sauerstoff, daß man mehrere kleine Gläser damit füllen kann. Ist alles Quecksilberoxyd zerlegt, und nur noch Quecksilber im Probircylinder sichtbar, so *entfernt man die Glasröhre aus dem Wasser*, nimmt darauf die Lampe weg und läßt den Probircylinder noch hängen, damit er allmählich erkalte.

§. 233. Versuche mit Sauerstoff.

Versuch a. Man stecke ein Stückchen Zündschwamm an einen Draht, zünde den Schwamm, der in gewöhnlicher Luft nur glimmt, an einem

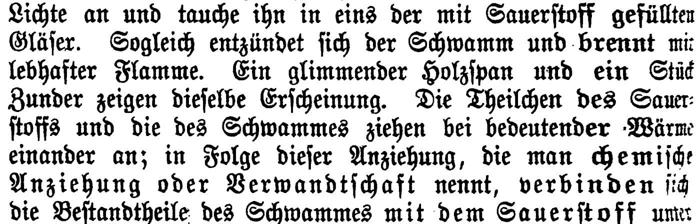


Fig. 289.

Lichte an und tauche ihn in eins der mit Sauerstoff gefüllten Gläser. Sogleich entzündet sich der Schwamm und brennt mit lebhafter Flamme. Ein glimmender Holzspan und ein Stück Zunder zeigen dieselbe Erscheinung. Die Theilchen des Sauerstoffs und die des Schwammes ziehen bei bedeutender Wärme einander an; in Folge dieser Anziehung, die man *chemische Anziehung oder Verwandtschaft* nennt, *verbinden* sich die Bestandtheile des Schwammes *mit dem Sauerstoff* unter Lichtentwickelung zu einem neuen Körper, oder, wie man gewöhnlich sagt, sie *verbrennen*.

Versuche b. Eine kleine Holzkohle wird an einen Draht gesteckt und in ein Licht gehalten, bis sie glüht. Taucht man sie in das zweite der mit Sauerstoff gefüllten Gläschen, so brennt sie mit hell glänzendem Lichte. Der Sauerstoff verbindet sich mit Theilen der Kohle, und durch diese chemische Verbindung entsteht ein neuer, luftförmiger Körper.

Eine Eigenschaft desselben kann man sogleich kennen lernen, falls man *blaues Lackmuspapier* vorräthig hat, das auf folgende Weise bereitet wird. Man kocht 10 Gr. Lackmus mit 60 Gr. Wasser, bis die Flüssigkeit eine dunkelblaue Farbe zeigt, etwa eine Viertelstunde lang, gießt etwas davon in eine Untertasse ab und taucht darein Streifen von weißem Druckpapier oder Briefpapier, die man über einer Schnur trocknet. Das blaue Lackmuspapier hat die Eigenschaft, daß es durch Citronensaft, Essig, überhaupt *durch Säuren, roth gefärbt* wird, und wird daher zum Erkennen einer Säure benutzt.

Hält man nach dem Verbrennen der Kohle einen Streifen angefeuchtetes blaues Lackmuspapier in das Glas, so färbt er sich roth. Demnach ist *aus Kohle und Sauerstoff* ein saurer, luftförmiger Körper entstanden, den man *Kohlensäure* nennt und auf folgende Weise immer wiedererkennt. Man bereitet sich *Kalkwasser*, indem man in einem Arzneiglase wenig gelöschten Kalk mit Wasser übergießt, das Glas verkorkt, umschüttelt und die Flüssigkeit, wenn sie nach einiger Zeit klar und durchsichtig geworden ist, zum größten Theil in ein anderes Glas

abgießt. Hierin wird das Kalkwasser aufbewahrt, und das Glas mit einem Kork wohl verschlossen. Gießt man daraus etwas in das mit Kohlensäure gefüllte Glas, so wird das Kalkwasser getrübt und milchig, und bei ruhigem Stehen sinkt ein weißes Pulver (kohlensaurer Kalk) zu Boden.

Versuch c. Ein dünner Eisendraht (eine Klaviersaite) wird um einen Bleistift gewickelt, so daß er beim Herausziehen desselben schraubenförmig gewunden ist. Das obere Ende schiebt man durch einen Kork, an das untere steckt man etwas Schwamm; man zündet denselben an und taucht den Draht in ein Sauerstoff enthaltendes Glas. Sobald das Feuer des Schwammes den Draht erreicht, entzündet er sich und brennt mit weißem Lichte unter Funkensprühen ab. Die hinabfallenden, verbrannten Eisenkügelchen haben eine solche Wärme, daß sie in den Boden des Glases einschmelzen. Das Eisen hat sich mit dem Sauerstoff verbunden; es ist ein neuer Körper, Eisenoxyd (Hammerschlag), entstanden.

Fig. 290.

Jeder mit Sauerstoff verbundene Körper wird ein Oxyd genannt. Quecksilberoxyd ist daher mit Sauerstoff verbundenes Quecksilber, Eisenoxyd mit Sauerstoff verbundenes Eisen, Kohlensäure ist ein saures Oxyd.

Der Sauerstoff kommt in der Natur stets mit andern Stoffen verbunden oder vermengt vor; er bildet einen Bestandtheil des Wassers und einen Theil der atmosphärischen Luft und ist in den meisten Mineralien enthalten. Er macht über ein Drittel unserer Erde aus.

Der Wasserstoff.

§. 234. Entwicklung des Wasserstoffs.

Wasser ist eine Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff; man erhält daher Wasserstoff (Hydrogenium, bezeichnet mit H) aus Wasser, wenn man demselben seinen Sauerstoff entzieht.

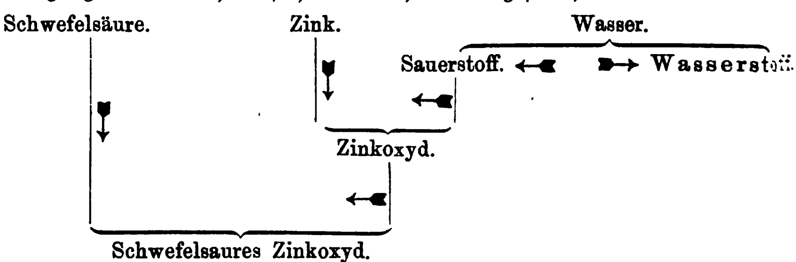
Versuch. In eine Flasche mit nicht zu engem Halse bringt man kleine Zinkstücke, wie man sie erhält, wenn man Zinkblech umbiegt und mit dem Hammer auf die umgebogene Stelle schlägt, bis sie durchbricht. Zuerst übergießt man das Zink mit Wasser, bis die Flasche etwa zum dritten Theil gefüllt ist, und dann gießt man tropfenweise und langsam concentrirte Schwefelsäure, und zwar ein Gr. Säure auf fünf Gr. Wasser, hinzu. Bei zu schnellem Zugießen würde die Flasche sich zu sehr erhitzen und leicht springen. Es erfolgt nach dem Zusetzen der Säure ein starkes Aufbrausen, verursacht durch die Entwicklung eines luftförmigen Körpers, des Wasserstoffs. Vorher muß man einen in den Hals der Flasche luftdicht passenden Kork durchbohrt und eine Gasleitungsröhre

Fig. 291.

hindurchgeschoben haben. Der Kork wird auf die Flasche gesetzt. Um das Gas aufzufangen, so taucht man, wie in §. 232, die Oeffnung der Leitungsröhre in eine mit Wasser gefüllte Schüssel und verfährt ebenso, wie beim Auffangen des Sauerstoffs.

Bei der Entwicklung von Wasserstoff ist stets die **Vorsichtsmaßregel** zu beobachten, daß man erst einige Zeit, etwa fünf Minuten, **wartet**, ehe man weitere Versuche anstellt. In dem oberen Theile der Flasche ist atmosphärische Luft enthalten, die, mit Wasserstoff gemengt, bei Annäherung einer Flamme heftige Explosionen verursacht.

Durch das Zink wird mit Hülfe der Schwefelsäure das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt. Zink übt eine chemische Anziehung auf den Sauerstoff des Wassers aus; diese Anziehung wird erhöht durch die Schwefelsäure, die das Bestreben hat, sich mit oxydirtem Zink zu verbinden. Es wird ein Theil des **Wassers** in Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt; der Sauerstoff verbindet sich mit dem Zink und bildet mit ihm Zinkoxyd. Der aus seiner Verbindung gedrängte **Wasserstoff** wird frei. Das Zinkoxyd vereinigt sich mit der Schwefelsäure und bildet mit ihr ein Salz, schwefelsaures Zinkoxyd, das sich im Wasser auflöst. Der Vorgang wird durch beistehendes Schema dargestellt;



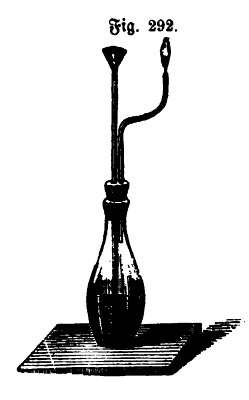


Fig. 292.

§. 235. Brennbarkeit des Wasserstoffs.

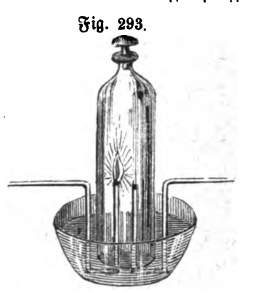
Versuch. Nachdem man zufolge der beim vorhergehenden Versuch angegebenen Vorsichtsmaßregel einiges Gas hat entweichen lassen, bringt man brennendes Papier über die Oeffnung der Röhre. Der Wasserstoff wird sich entzünden und **brennt** mit wenig leuchtender blauer Flamme; er verbindet sich unter Lichtentwicklung mit dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff. Es ist gerathen, sich hierzu eines Platinfeuerzeuges zu bedienen, §. 238.

§. 236. Entstehung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff.

Wie sich das Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegen läßt, so kann man es auch aus beiden Bestandtheilen wieder zusammensetzen.

Versuch. Man halte über die Wasserstoffflamme ein etwas weites Glas oder einen Lampencylinder, so daß innerhalb desselben die chemische Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff der Luft Statt hat. Das dadurch gebildete Wasser besitzt zuerst Dampfform, setzt sich dann wie ein Hauch an die inneren Wände des Glases und rinnt endlich in kleinen Tropfen herab. Wasser ist also oxidirter oder verbrannter Wasserstoff.

Fig. 293.



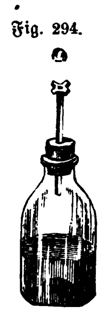
Indem man in eine größere Glasglocke durch enge Röhren nach und nach Wasserstoff und Sauerstoff, und zwar auf ein Maß Sauerstoff zwei Maß Wasserstoff, strömen ließ und bei hinreichender Wärme zusammensetzte, hat man auf künstlichem Wege größere Mengen Wasser gebildet. Wasser besteht aus zwei Raumtheilen Wasserstoff und einem Raumtheil Sauerstoff.

Wollte man beide Gase in diesem Verhältniß mengen und ihre Verbindung, die einen höheren Wärmegrad erfordert, durch eine Flamme bewirken, so würde auf einmal das ganze Gemenge die Verbindung eingehen, eine Menge durch die Hitze ausgedehnter Wasserdämpfe sich bilden und mit dem heftigsten Knall das Gefäß zertrümmern. Diese Mengung hat daher den Namen Knallgas erhalten. Weniger rein bildet es sich schon aus Wasserstoff und atmosphärischer Luft, in welcher sich Sauerstoff vorfindet; sie bringt ähnliche Explosionen hervor und läßt sich ohne Gefahr durch den elektrischen Funken entzünden, wie der Versuch (§. 189) mit der elektrischen Pistole lehrt.

§. 237. Geringes Gewicht des Wasserstoffs.

Der Wasserstoff hat eine sehr geringe Dichte; sein Gewicht beträgt den 14. Theil von dem der atmosphärischen Luft.

Fig. 294.



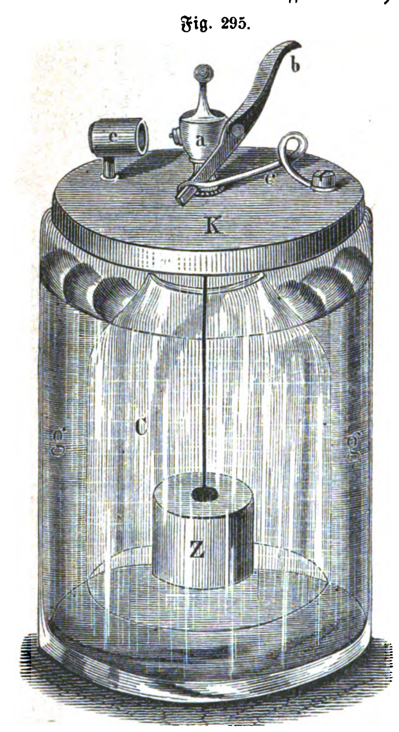
Versuch. An die Glasröhre der Gasentwicklungsflasche befestige man einen starken Strohhalm, spalte ihn oben in vier gleiche Theile, biege dieselben und stelle sie dergestalt, daß sie ein wagerecht liegendes Kreuz bilden. Bringt man einen Tropfen Seifenwasser oben darauf, so wird das ausströmende Gas sich mit einer Seifenblase umhüllen, die wegen ihrer Leichtigkeit emporsteigt. Diese Erscheinung ist eine Folge des Archimedischen Gesetzes (§. 87, 88 und 124, 5), das auch für luftförmige Körper Geltung hat. An derjenigen Stelle, wo sich die mit Wasserstoff gefüllte Seifenblase befindet, war vorher atmosphärische Luft, die von der sie umgebenden Luft gerade ge-

tragen wurde; wäre die Seifenblase schwerer, als die verdrängte Luftmasse, so würde sie sinken; da sie leichter ist, muß sie steigen. Eilt man der Seifenblase mit einem Lichte nach, so verbrennt sie mit einem unbedeutenden Knall, sobald die Flamme sie berührt. Leicht könnte der Fall eingetreten sein, daß die Entwicklung des Gases nicht mehr lebhaft vor sich geht; man gießt dann nach Abnehmen des Korks einige Tropfen concentrirte Schwefelsäure in die Flasche und harrt angemessene Zeit, bis das Knallgas, das anfangs sich bildet, aus der Flasche verdrängt ist.

§. 238. Das Platinfeuerzeug.

Eine Anwendung von der Brennbarkeit des Wasserstoffs ist das Platinfeuerzeug. Es enthält zunächst eine Vorrichtung zur Entwicklung von Wasserstoff. Innerhalb eines größeren, oben offenen Glases hängt ein unten und oben offener Cylinder. Mit seiner oberen Oeffnung ist derselbe in eine Metallröhre gekittet, die durch den auf dem weiteren Glase ruhenden Deckel hindurch zuerst lothrecht empor führt, dann wagerechte Richtung annimmt und in eine feine Oeffnung endet. Oben in dem kugelförmigen Theil dieser metallenen Gasleitungsröhre ist ein Hahn angebracht, der durch eine Feder geschlossen gehalten wird und sich durch Niederdrücken eines Handgriffs leicht öffnen läßt. Geschieht dies, so würde das in dem glockenförmigen Cylinder enthaltene Gas zu der feinen Oeffnung ausströmen. Damit sich Wasserstoff entwickele, hängt an einem starken Messingdraht innerhalb des Cylinders ein Zinkkolben oder ein zusammengerolltes Stück Zinkblech, und das weitere Glasgefäß ist über die Hälfte mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die aus einem Gewichtstheil concentrirter Schwefelsäure und fünf Gewichtstheilen Wasser besteht. Hat man den Deckel sammt dem daran befestigten Cylinder abgenommen, die verdünnte Säure eingegossen und den Deckel wieder aufgesetzt, so kann nur wenig Säure in den Cylinder treten, weil er (§. 103) gleich einer Taucherglocke mit atmosphärischer Luft gefüllt ist. Man hält daher ein Stück Papier in fingerbreiter Entfernung vor die feine Oeffnung der oberen Röhre und öffnet den Hahn; die Säure stellt sich in dem Cylinder so hoch, wie in dem äußeren Gefäße, gelangt

Fig. 295.



zum Zink und bewirkt das Beginnen der Wasserstoffentwicklung. Weil aber in dem oberen Theile des Cylinders noch gewöhnliche Luft sich befindet, öffnet man den Hahn noch mehrmals und läßt das Knallgas gegen das vorgehaltene Papier strömen, bis man reinen Wasserstoff zu haben glaubt. Durch das Vorhalten des Papiers wird das Knallgas gehindert, gegen den in einer Kapsel vor der Ausströmungsöffnung angebrachten Platinschwamm zu strömen, an dem sich entzündend es explodiren könnte. Wenn man jetzt den Wasserstoff gegen den Platinschwamm strömen läßt, so wird derselbe glühend, der Wasserstoff entzündet sich mit einem unbedeutenden Knall, und ein Papierstreifen läßt sich an seiner Flamme anzünden. Platinschwamm ist fein zertheiltes Platin. Wie aber die flüssigen Körper sich an manche feste mit starker Kraft anhängen und Adhäsionserscheinungen (§. 84 B) veranlassen, so hängen sich auch luftförmige Körper an feste, besonders fein zertheilte. Fein zertheiltes Platin nimmt große Mengen Sauerstoff aus der Luft auf und gestaltet denselben zu Ozon (§. 157), so daß er sich leicht mit andern Stoffen verbindet; der ausströmende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff des Schwammes und entzündet sich. Ist aus dem Cylinder Gas ausgeströmt, so steigt die Schwefelsäure, durch den Luftdruck getrieben, in ihm zum Zink, es entwickelt sich wieder Gas, füllt den Cylinder ganz und verdrängt die Säure daraus. Der Zweck des Cylinders in dem Platinfeuerzeug ist also der, daß die Gasentwickelung nur dann stattfindet, wenn sie nach dem Gebrauch der Maschine nöthig geworden ist.

Als Feuerzeug ist die Platinzündmaschine von den Streichfeuerzeugen verdrängt worden. Dagegen ist sie sehr empfehlenswerth zur Anstellung der vorher beschriebenen Versuche mit Wasserstoff, zum Laden der elektrischen Pistole, zum Füllen eines kleinen Luftballons. Man schraubt für diese Zwecke die Kapsel mit dem Platinschwamm ab, die leicht hinderlich wird.

Ist man veranlaßt, concentrirte englische Schwefelsäure zu verdünnen, so gießt man nie das Wasser zu der Säure, sondern umgekehrt die Säure zum Wasser. Auch hierbei entsteht immer noch eine beträchtliche Erhitzung. Am besten nimmt man das Mischen in einem irdenen Gefäße vor, gießt in dasselbe 5 Gr. Wasser und stellt es in eine mit Wasser gefüllte Schüssel. Darauf setzt man nach und nach in kleinen Portionen ein Gr. Säure zu und läßt die Flüssigkeit erkalten. Die Mischung von concentrirter Schwefelsäure und Wasser bildet verdünnte Schwefelsäure.

§. 239. Der erste Luftballon, eine Montgolfiere.

Die Entdeckung, daß das Gewicht des Wasserstoffs den 14. Theil von dem der atmosphärischen Luft beträgt, hat Veranlassung zur Erfindung der Luftballons oder Aërostaten gegeben. Aber man brachte es anfangs nur dahin, mit Wasserstoff gefüllte Seifenblasen steigen zu lassen, die gemäß dem Archimedischen Gesetze (§. 87 und 88) sich bis an die Decke des Zimmers erhoben; andere mit Wasserstoff gefüllte Körper zeigten sich als zu schwer.

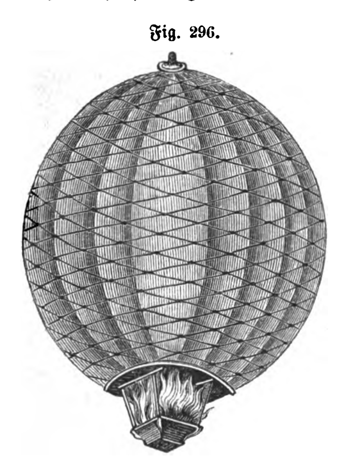
Da wurden durch den Gedanken, daß Rauch und erwärmte Luft stets emporsteigen, die Papierfabrikanten Joseph und Stephan Montgolfier zu Annonay im südlichen Frankreich darauf geführt, den Rauch in einen Ballon aus Papier steigen zu lassen, damit derselbe emporgetragen werde. Als ihnen der Versuch in kleinerem Maßstabe gelungen war, fertigten sie im Jahre 1783 den ersten größeren Luftballon. Er hatte 11 M. im Durchmesser und war aus dünner Leinwand gearbeitet und inwendig mit Papier beklebt. Unten hatte diese Hülle eine ungefähr $\frac{1}{2}$ Quadratmeter große Oeffnung, unter welcher ein mit Stroh und Wolle gefüllter Feuerkorb hing. Am 5. Juni 1783 wollte man den Ballon steigen lassen. Die Brennstoffe wurden angezündet, der Rauch und die erhitzte Luft stiegen in ihn empor, dehnten ihn zu einer kugelförmigen Gestalt aus und bewirkten durch ihre Leichtigkeit, daß der Ballon 300 M. emporstieg. Durch eine sanfte Luftströmung wurde er 4 Kilometer weit getrieben und fiel dort zu Boden.

§. 240. Anfertigung einer kleinen Montgolfiere.

Die mit erhitzter Luft gefüllten Luftballons werden Feuerluftballons oder den Erfindern zu Ehren Montgolfieren genannt.

Versuch. Eine Montgolfiere kann man sich leicht selbst anfertigen und im Freien steigen lassen; nur darf man ihr, wenn sie aus gewöhnlichem Papier gearbeitet wird, nicht unter 160 Cm. Durchmesser geben. Man wähle dünnes, aber doch festes Schreibpapier und klebe mit Stärkekleister (§. 84 b) immer 8 Bogen ihrer Länge nach an einander, so daß man Papierstreifen von der Breite eines Bogens und von mehr als 2,5 M. Länge erhält. Solcher Streifen bereitet man sich sechszehn, läßt ihnen in der Mitte ihre ganze Breite, schneidet sie aber nach beiden Enden zu schmäler. Darauf hängt man an der Decke des Zimmers oder an einem passenden Gestelle eine kleine, runde Pappscheibe in wagerechter Lage auf und klebt den einen der zugeschnittenen Papierstreifen mit seinem einen Ende oben daran. Den zweiten Streifen klebt man dicht daneben, so daß sein Rand über dem Rande des ersten Streifens zu liegen kommt, und klebt sie mit den Rändern an einander. So verfährt man auch mit den folgenden Streifen, bis alle 16 rings herum luftdicht an einander befestigt sind. Unten giebt man dem Ballon eine nicht zu kleine, runde Oeffnung und klebt die unteren Enden der Papierstreifen um eine zu einem Kreise gebogene Gerte oder ein spanisches Röhrchen. An dasselbe hängt man unter die Oeffnung an dünnen Drähten (Claviersaiten) eine Schale aus

Fig. 296.



dünnem Blech; in diese wird Spiritus gegossen und angezündet. Der Ballon steigt, sobald die Luft in ihm durch die Wärme hinreichend verdünnt ist.

§. 241. Die erste Charliere.

Schnell verbreitete sich die Kunde von der Erfindung der Brüder Montgolfier durch Frankreich und ganz Europa. Der Professor Charles zu Paris erkannte, daß luftdichtes Zeug auch für Wasserstoff eine zweckmäßige Hülle sein werde, und kehrte zu dem älteren Plane zurück, den hohlen Körper, der aufsteigen sollte, mit Wasserstoff zu füllen. Zugleich war ein solcher Ballon frei von der Gefahr, die jeder Montgolfiere den Untergang droht, indem die Flamme des Feuerbeckens leicht zu groß werden und den Ballon selbst erreichen kann. Noch im August desselben Jahres ließ Charles aus Taffet einen Luftballon, der nur 4 M. im Durchmesser hatte und ringsum verschlossen war, anfertigen und die Hülle, um sie möglichst luftdicht zu machen, mit einem Firniß aus elastischem Gummi überziehen. Mit Wasserstoff gefüllt, stieg der Ballon von dem Marsfelde zu Paris aus schnell 900 M. und verlor sich dann, von den Wolken verdeckt, aus den Augen. Nach drei Viertelstunden sank er, 22 Kilometer von Paris entfernt, in der Nähe eines Dorfes zu Boden. Die mit Wasserstoff gefüllten Ballons werden Charlieren oder Gasluftballons genannt.

§. 242. Die ersten Luftschiffer.

Noch war kein lebendes Wesen mit einem Luftballon aufgestiegen, bis der jüngere Montgolfier zu Versailles in Gegenwart des Königs in der geflochtenen Gallerie, die um den unteren Theil seines Ballons angebracht war, ein Schaf, einen Hahn und eine Ente in die Höhe steigen ließ. Diesen Dreien gelang die Luftfahrt aufs beste, und eine Stunde von Paris gelangten sie glücklich wieder zur Erde.

Der erste Luftballon, mit welchem am 15. Oktober 1783 Menschen aufstiegen, war ebenfalls eine Montgolfiere, die 24 M. Höhe und 15 M. Breite hatte. Zur Vorsicht wurde sie an Stricken festgehalten, der Vorsteher des Museums Pilatre de Rozier stieg hinein und erhob sich zu einer Höhe von 27 M.; nach vier Minuten zog man ihn wieder zu Boden. Da dieser erste Versuch glücklich ausgefallen war, entschlossen sich Rozier und der Marquis von Arlandes im nächsten Monat zu der ersten größeren Luftreise, die am 21. November 1783 vom Schlosse La Müette bei Paris aus unternommen ward. Sie stiegen mit großer Schnelligkeit; bald konnte man die beiden Luftschiffer nicht mehr erkennen und der Ballon erschien den Beobachtern immer kleiner. Darauf begann der Ballon zu sinken, und wurde von der Luftströmung über den Lauf der Seine und über Paris dahingeführt; in der ganzen Stadt konnte man ihn sehen. Durch Vergrößerung des Feuers bewirkten die Luftschiffer, daß

sie stiegen; durch Verkleinerung des Feuers erreichten sie, daß sie sich senkten. Nach 25 Minuten rief Arlandes: „Es ist genug; nun zur Erde!" Man fachte das Feuer nicht weiter an; der Ballon sank langsam und gelangte, 9800 M. von dem Ort des Aufsteigens entfernt, zur Erde. Arlandes bestieg sogleich ein Pferd und eilte zu der am Abfahrtsorte noch versammelten staunenden Menge; Rozier ließ den Ballon auf einen Wagen laden und begleitete ihn nach Paris.

Wenige Tage später, am 1. December 1783, führte der Professor Charles in Begleitung von Robert, der die dazu verwandte Charliere gefertigt hatte, eine Luftreise aus, welche wegen der prachtvollen Ausstattung des Ballons und des glücklichen Ausganges die Versuche seiner Vorgänger verdunkelte. Der besuchteste Platz der Hauptstadt, der Garten der Tuilerien, war zur Stätte des Aufsteigens bestimmt; die ganze Bevölkerung von Paris war in Bewegung, und alle öffentlichen Plätze mit Zuschauern gefüllt. Ein Kanonenschuß gab das Zeichen zur Abfahrt. Es war gegen zwei Uhr Nachmittags, als der schöne, aus buntem Taffet gearbeitete Ballon, von den Strahlen der Sonne beleuchtet, sich erhob und in einem an Seilen hängenden Triumphwagen die beiden Luftschiffer emportrug. Er stieg mit bewundernswürdiger Schnelligkeit zu einer Höhe von 500 M. und wurde in zwei Stunden von der Strömung des Windes 34 Kilometer weit hinweggeführt. Hier öffnete man die Klappe in der Charliere, senkte sich nieder, und Robert stieg aus. Charles aber stieg mit dem wieder geschlossenen Ballon, der nach dem Aussteigen seines Gefährten weniger zu tragen hatte, noch einmal, bis zu einer Höhe von 2800 M. auf, sah noch einmal die Sonne untergehen und gelangte nach Ablauf einer halben Stunde wohlbehalten zur Erde.

§. 243. Spätere Luftfahrten.

Mit einer Charliere, die schon fünf Luftfahrten glücklich bestanden hatte, wagte es 1785 Blanchard, von England über den Canal nach Frankreich überzusetzen. Aus einer zahllosen Volksmenge stieg er bei Dover empor und schwebte, vom Winde getrieben, über den Wogen des Meeres. Da begann der Ballon zu sinken, weil Wasserstoff entwichen war; der Luftschiffer warf den Ballast, mit Sand gefüllte Säcke, dann alle seine Geräthschaften und einen Theil seiner Kleider ins Meer, erhielt sich schwebend und wurde durch den Wind zu rechter Zeit hinübergeführt an die französische Küste.

Als aber Rozier von Frankreich aus über den Canal zu setzen gedachte, fand er seinen Tod. Er hatte, um das Sinken oder Steigen des Ballons in seiner Gewalt zu haben, unter einer Charliere eine Montgolfiere angebracht und unterhielt unter derselben eine Spirituslampe mit vielen Oeffnungen, die sich nach Belieben öffnen und anzünden oder verschließen ließen. In der Frühe eines Junimorgens im Jahre 1785 bestieg Rozier in Begleitung des Parlamentsadvocaten Romain bei Calais den Ballon und schien von dem Südostwinde in gerader Richtung seinem Ziele ent-

gegen getrieben zu werden. Doch schlug der Wind in Kurzem in einen Ostwind und dann in einen Nordwestwind um, der den Luftballon zurück nach dem Festlande trieb. Während der Windstöße mußte Spiritus verschüttet, und der untere Ballon in Flammen gerathen sein; auch mochte in der gefährlichen Nachbarschaft der brennbare Wasserstoff sich entzündet haben. Mit ungemeiner Geschwindigkeit stürzte die ganze Vorrichtung nieder; ihre zerstreuten Trümmer lagen nicht weit vom Meere entfernt auf dem Boden, und die Luftschiffer waren dermaßen zerschmettert, daß man kaum noch die menschliche Gestalt an ihnen zu erkennen vermochte.

Der Engländer Carl Green hat seit 1836 eine neue Art der Füllung für die Gasluftballons aufgebracht, indem er nicht das kostspielige Wasserstoffgas benutzte, sondern Leuchtgas (Kohlenwasserstoffgas), das billiger und an solchen Orten, wo es zur Gasbeleuchtung gebraucht wird, bequemer zu haben ist, aber auch, weil es mehr wiegt, einen größeren Ballon nöthig macht. Das Gewicht des Leuchtgases beträgt $\frac{1}{2}$ von dem der atmosphärischen Luft. Sodann brachte Green als Verbesserung das Leitseil an den Ballons an, ein frei hinabhängendes Seil, durch welches die Schwankungen des Ballons verringert werden.

Feuerluftballons werden heutzutage wegen der Feuersgefahr und ihrer Größe fast gar nicht mehr gearbeitet. Die Gasluftballons werden oben von einem Netz umschlossen, das aus festen Schnüren verfertigt ist; eine Anzahl von Schnüren führt von dem Netz aus abwärts, an ihnen hängt unter dem Ballon ein großer und starker Reif aus Holz, der Tragreif, und an diesem hängt die aus Weidengeflecht verfertigte Gondel. In dem obersten Theil des Ballons ist ein hölzerner Ring befestigt, der 32 Cm. im Durchmesser hat; in diesem Ringe ist ein Ventil angebracht; eine Schnur führt von demselben durch das Innere des Ballons hinab bis in die Gondel, so daß der Luftschiffer durch Ziehen an der Schnur das Ventil öffnen kann. Der untere Theil des Ballons verengt sich trichterförmig und wird der Hals oder das Anhängsel des Ballons genannt. Ein Luftballon darf nie vollständig gefüllt werden; sondern das Gas muß Raum behalten, um sich auszudehnen, und diese Ausdehnung ist, wenn der Ballon von den Sonnenstrahlen getroffen wird oder in die höheren, weniger dichten Luftschichten gelangt, so bedeutend, daß etwas Gas aus dem Ballon muß austreten können. Deshalb läßt man den Hals desselben entweder ganz offen oder versieht ihn mit einem Ventil, welches der Luftschiffer, so lange es als nöthig erscheint, offen zu erhalten hat. Um zu steigen, wird Ballast ausgeworfen; es wird aus den mitgenommenen Säcken Sand ausgeschüttet, und so das Gewicht der Gondel verringert. Ist der Ballon längere Zeit in wagerechter Richtung dahin geschwebt, so beginnt er zu sinken; weil die Hülle des Ballons nie vollkommen luftdicht ist, dringt Gas hindurch, der Umfang des Ballons nimmt ab, und er verdrängt weniger Luft. Regen und Schnee bewirken ein Sinken des Ballons, weil sie, an ihm haftend, sein Gewicht vergrößern. Will der Luftschiffer sich eine bedeutende Strecke senken oder sich, um zu landen, auf den Erdboden hinablassen, so öffnet er das obere Ventil.

Es gehört zu den Unvollkommenheiten der Luftschifffahrt, daß man bis jetzt nicht im Stande ist, den Luftballon zu lenken; die in dieser Absicht mit Segeln, Rädern und der Luftschraube (§. 41) angestellten Versuche haben zu keinem Erfolg geführt. Der Luftschiffer ist der Macht der Winde preisgegeben und muß, weil die Luftströmungen in verschiedenen Höhen verschiedene Richtung haben, sich in eine Luftströmung senken oder emportragen lassen, deren Richtung für ihn passend ist.

Die Landung eines Luftballons ist keineswegs ohne Gefahren. Nicht immer ist der Landungsplatz frei von Gewässern, Wäldern und Häusern; nicht immer finden sich genug Personen beisammen, um den Ballon an den von dem Netz herabhängenden Seilen herabzuziehen; der von der Gondel aus ausgeworfene Anker faßt nicht immer festen Grund und hat noch eine unvollkommene Einrichtung; die Gondel erreicht den Erdboden vielleicht mit einem gewaltigen Stoß, wird durch den Ballon emporgehoben und berührt die Erde mit wiederholten unsanften Stößen. Von Paris aus unternahm am 18. October 1863 Nadar mit einem Riesenballon eine Luftfahrt in Gegenwart des Kaisers Napoleons III. und Tausender von Zuschauern; außer Nadar und seiner jungen Frau befanden sich sieben Personen in der Gondel. Sie gelangten ins Hannöversche. Der Versuch, am nächsten Morgen bei Nienburg zu landen, mißlang; die Anker zerbrachen, und das Ventil schloß sich wieder. Die Gondel berührte den Boden; der Ballon, der auf kurze Zeit das Gewicht derselben nicht mehr zu tragen hatte, hob sich und die Gondel wieder 20 bis 30 M. und sank dann wieder hinab. So begann eine gefährliche Fahrt in weiten, hohen Sprüngen durch Wald und Feld; Bäume, Gebüsche und Geländer wurden durch die Gondel zerbrochen, und ein Stück des Eisenbahndammes aufgerissen. Endlich trieb der Wind den Ballon bei Rethem in ein Gehölz, und dort blieb derselbe in den Bäumen hängen. Fast alle Personen sprangen aus der Gondel, und alle haben Quetschungen, Armbrüche und Verwundungen davongetragen.

Um sich aus einem Luftballon auf die Erde hinabzulassen, hat man sich auch des Fallschirms bedient. Der Professor Lenormand zu Montpellier hatte in Erfahrung gebracht, daß indische Sklaven sich, indem sie große Sonnenschirme in den Händen hielten, in Gegenwart ihrer Fürsten von ziemlich bedeutenden Höhen hinabließen, und stellte 1783 die ersten Versuche über den Fallschirm an, indem er mehrere Regenschirme in den Händen hielt und sich aus dem oberen Theil seines Hauses auf die Erde hinabließ. Der Fallschirm hat die Gestalt eines großen Regenschirms; er ist aus starkem Taffet oder aus Leinwand gearbeitet und hat einen Durchmesser von 8 M. Am Rande des Schirms sind Seile befestigt, an denen eine kleine Gondel hängt. Der Widerstand der Luft (§. 41) gegen die untere Fläche des Schirms verringert die Geschwindigkeit dessen, der sich mit demselben hinabläßt. Eine Unvollkommenheit des Fallschirms besteht darin, daß er, gleich einem fallenden Blatte, hin und her schwankt. Diese Schwankungen hat man zu verringern gesucht, indem man oben in dem Schirm eine kleine Abzugsröhre für die Luft an-

brachte. Die neueren Luftschiffer machen von dem Fallschirm sehr selten Gebrauch.

Anwendung finden die Luftballons zur Belustigung der Zuschauer, im Dienst der Wissenschaft und in dem der Kriegführung. Zur Belustigung des Volks ließ man am Krönungstage Napoleons I. im December 1804 in Paris einen Ballon emporsteigen, welcher eine aus dreitausend bunten Gläsern gebildete Krone trug. Der Ballon senkte sich in der Campagna bei Rom, und dort zerschellte die Krone an dem angeblichen Grabmal Nero's in viele Tausend Stücke. Wenn Luftschiffer zur Belustigung des Publikums mit ihrem Ballon emporsteigen, erheben sie sich selten über 400 bis 500 M. und lassen sich nur wenige Kilo-M. weit tragen. Die Landung ist dann im Ganzen gefahrlos, weil der Ballon sich nur aus einer unbedeutenden Höhe hinabsenkt.

Die erste Luftfahrt im Dienst der Naturwissenschaften haben 1803 Robertson und Lhoëst unternommen, welche von Hamburg aus emporstiegen und bei Hannover landeten. In der bedeutenden Höhe, die sie erreichten, erschien ihnen der Himmel tief dunkelblau; die Luftwärme war gering, und der Schall, den sie durch Explosion von chlorsaurem Natron hervorbrachten, war weit schwächer, als er in der Nähe der Erdoberfläche zu sein pflegt. Im Auftrage der Pariser Akademie führte 1804 der Physiker Gay-Lussac von Paris aus eine Luftfahrt aus; wie er mit Hülfe eines Barometers genau ermittelte, erhob er sich bis zu einer Höhe von 7016 M. und erlangte so den Ruhm, bis dahin unter allen Menschen sich am weitesten vom Mittelpunkt der Erde entfernt zu haben. Er stellte fest, daß in der atmosphärischen Luft der höheren Regionen Sauerstoff und Stickstoff in demselben Verhältniß (§. 244) unter einander gemengt sind, wie in den untersten Luftschichten. 1862 und in den folgenden Jahren sind durch den Director der Sternwarte zu Greenwich, James Glaisher, 30 Luftfahrten ausgeführt worden. Eine derselben fand am 5. September 1862 von Wolverhampton aus Statt. Der Ballon hatte eine außergewöhnliche Größe, so daß er 2500 Cubik-M. Gas faßte. Um Mittag stiegen Glaisher und Coxwell in die Gondel. Die Luftwärme betrug an der Erdoberfläche + 12 Grad R. Zehn Minuten nach der Abfahrt gelangten die Luftreisenden in eine dichte Wolkenmasse und waren fast in Finsterniß gehüllt; vier Minuten später sahen sie sich von blendendem Sonnenschein umgeben, und unter ihnen erglänzte in weißem Lichte ein unabsehbares Wolkenmeer in Gestalt von Hügeln, Gebirgsketten und hoch emporragenden Spitzen. In 25 Minuten nach der Abfahrt erreichten die Reisenden die Höhe des Montblanc, 11 Minuten später die des Chimborasso und, indem sie fortwährend Ballast auswarfen, 10 Minuten später die Höhe des Dawalagiri. Noch vergingen wenige Minuten, und der Ballon befand sich in der zuvor von keinem Luftschiffer erreichten, außerordentlichen Höhe von 11200 M. Das Thermometer zeigte eine Kälte von — 20 Grad R. an. Glaisher verlor in dieser Höhe auf kurze Zeit den Gebrauch seiner Glieder und lag 7 Minuten lang in einer Ohnmacht, die aber keine nachtheiligen Folgen hatte. Coxwell wollte das Ventil öffnen; allein die Hände

versagten ihm den Dienst, und er mußte sich der Zähne bedienen, um die Schnur des Ventils zu fassen, dasselbe zu öffnen und das Sinken des Ballons herbeizuführen. Wie Glaisher und Andere an sich beobachtet haben, nimmt in größeren Höhen die Zahl der Athemzüge und Pulsschläge zu; das Athmen wird in der Höhe von 4500 M. und darüber schwer, der Puls schlägt fieberhaft, und es treten Ermattung und Unbehagen ein. Als im April 1875 der Luftschiffer Tissandier mit den beiden Naturforschern Sivel und Crocé-Spinelli von Paris aus mit einem Ballon emporstieg, verloren in einer Höhe von 8000 M. alle Drei das Bewußtsein; Tissandier kam wieder zu sich und bewerkstelligte die Landung des Ballons; die beiden Naturforscher aber waren und blieben todt. Die Luftwärme nimmt zuerst für je 200 M. Erhebung von der Erdoberfläche um 1 Grad C. ab, aber in größeren Höhen um weniger; feuchte Luftschichten wechseln mit trockenen; die Strömungen der Luft haben in der Höhe eine größere Geschwindigkeit, als in der Nähe des Erdbodens. Die Luftreisenden müssen lauter sprechen, als gewöhnlich, um einander zu verstehen (§. 274); in der Nähe der Erdoberfläche gewähren ihnen größere Flüsse und Seen herrliche, vielsylbige Echos.

Für die Zwecke der Kriegführung wurde in Frankreich eine Luftschiffercompagnie errichtet; die Luftschiffer folgten in den Kriegen der Republik den französischen Heeren und beobachteten von gefesselten, d. h., an Stricken festgehaltenen, Ballons aus die Stellungen der Feinde. So stiegen am Tage der Schlacht bei Fleurus, dem 26. Juni 1794 französische Officiere mit einem Ballon empor, dessen Seile durch 30 Pferde gehalten wurden, und verweilten in der Höhe neun Stunden; ihre Beobachtungen schrieben sie auf Zettel, befestigten dieselben an Bleistücke und ließen sie längs einer Schnur auf den Erdboden hinabgleiten. Diese Nachrichten über die Bewegungen der Feinde haben nach dem Zeugniß des Oberbefehlshabers Jourdan wesentlich zum Siege des französischen Heeres beigetragen. Napoleon I. löste die Luftschiffercompagnie auf; aber Napoleon III. ließ für den Krieg in Italien 1859 einen schönen Ballon aus doppeltem Seidenzeug anfertigen. In dem nordamerikanischen Kriege wurde die Einnahme von Richmond nur möglich durch die Recognoscirungen, welche man von Luftballons aus wiederholt vornahm. Den umfassendsten Gebrauch aber von Luftballons hat man zu Paris während des Krieges in den Jahren 1870 und 1871 gemacht. Als im September 1870 die Stadt von dem deutschen Heere eingeschlossen war, errichtete die Postverwaltung zur Herstellung von Luftballons zwei große Werkstätten, die eine in dem Bahnhof der Nordbahn, die andere in den Gebäuden der Orleansbahn. In der ersten wurden Ballons aus zweimal gefirnißter weißer Leinwand gearbeitet; in den Gebäuden der Orleansbahn wurden sie unter Aufsicht der als Luftschiffer bekannten Brüder Godard aus farbiger Leinwand gefertigt; die Ballons waren so groß, daß sie außer vier Personen noch eine bedeutende Last emporzutragen vermochten. Man ließ gefesselte Ballons steigen, um von den höheren Luftschichten aus die Stellung der Deutschen zu beobachten. Besonders aber wandte man die

Ballons an zur Beförderung von Personen, Depeschen, Briefen und Brieftauben. Durch die Ballons erhielten die Provinzen Befehle und Briefe aus der Hauptstadt; durch die Brieftauben erhielt die Hauptstadt Nachrichten aus den Provinzen. Man nahm die Tauben aus Paris in einem Käfig mit, befestigte nach der Landung des Ballons an ihr Gefieder die überaus kleinen Depeschen (§. 332) und ließ die Tauben fliegen. Sie legten in einer Stunde durchschnittlich 60 Kilo-M. zurück. Doch sind von den 363 Brieftauben, die man nach und nach in die Provinzen gebracht hatte, nur 57 in ihre alte Behausung nach Paris zurückgekehrt, während die Mehrzahl in dem Nebel und Schneegestöber der Wintertage sich verirrt hat oder getödtet ist. Nachdem bereits im September 1870 vier Luftfahrten ausgeführt worden waren, stieg im October der Minister Gambetta von einem Platz in Paris aus mit einem Luftballon empor, um zu den andern Ministern, nach Tours, zu gelangen. Der Ballon stieg sehr langsam; von Seiten der Deutschen wurde nach dem Ballon geschossen, und eine Flintenkugel streifte die Hand des durch die Luft reisenden Ministers; ungünstige Luftströmungen trieben ihn nach Amiens zu, und er gelangte nach einer Fahrt von 3½ Stunde bei Montdidier auf die Erde. Bald hinterher, am 14. October 1870, fuhr auch der Polizeipräfect von Paris, General Keratry, in einem Ballon aus der Stadt; er gelangte nach Bar-le-Duc und trug bei der Landung, weil der Ballon mit zu großer Geschwindigkeit fiel, eine Wunde am Kopfe davon. Vom 23. September 1870 bis 28. Januar 1871 wurden 64 Luftfahrten ausgeführt, und dadurch 155 Personen und 180 Centner Briefschaften aus Paris befördert. Fünf Ballons fielen in die Hände der Deutschen, ein sechster wurde nach Norwegen verschlagen, und von zweien ist unbekannt geblieben, welches Ende sie genommen haben.

Von 1783 bis jetzt sind im Ganzen 3700 Luftfahrten unternommen worden; bei 17 derselben sind Menschen ums Leben gekommen.

Der Stickstoff.

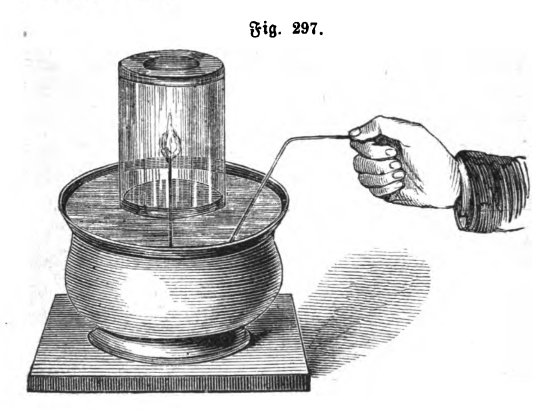
§. 244. Entwickelung des Stickstoffs.

Den Stickstoff (Nitrogenium, bezeichnet durch N), der ebenfalls als ein luftförmiger Körper erscheint, erhält man aus der atmosphärischen Luft, indem man derselben ihren Sauerstoff nimmt.

Versuch. Man befestige etwas Watte oder Schwamm an einen Draht und tränke sie mit Spiritus. Hat die Watte genug Spiritus eingesogen, dann hält man den nach der Zeichnung gebogenen Draht so in eine mit Wasser gefüllte Schüssel, daß die Watte sich oberhalb des Wassers befindet. Der Spiritus wird angezündet, und schnell ein Trinkglas darüber gestürzt, dessen Oeffnung ringsherum in das Wasser eintauchen muß. Die Flamme

erlischt, wenn sich aller Sauerstoff, der in der atmosphärischen Luft des Trinkglases enthalten war, mit den Theilen des Spiritus verbunden hat. Zugleich steigt das Wasser aus der Schüssel in das Trinkglas empor und nimmt, durch den äußeren Luftdruck getrieben, die Stelle des verzehrten Sauerstoffs ein. Es wird den fünften Theil des Glases füllen. In der atmosphärischen Luft, die anfänglich das Trinkglas enthielt, war also $\frac{1}{5}$ Sauerstoff. Die übrigen $\frac{4}{5}$ des Glases werden von einer anderen Luftart, von Stickstoff, eingenommen.

Fig. 297.



Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge aus einem Raumtheil Sauerstoff und vier Raumtheilen Stickstoff. Sie ist keine chemische Verbindung, kein neuer Körper, der aus beiden Stoffen entstanden wäre; vielmehr befinden sich die Theilchen beider neben einander und unter einander gemengt. Außerdem befindet sich in der Atmosphäre eine geringe Menge Kohlensäure, welche durch die Verbrennungen sich aus Kohle und Sauerstoff bildet, und eine größere Menge von Wasserdampf.

§. 245. Versuche mit Stickstoff.

Versuch. Man verschließe die Röhre eines Trichters mit einem Kork und stürze seine weitere Oeffnung, wie das Trinkglas im vorhergehenden Versuch, über den brennenden Spiritus in die mit Wasser gefüllte Schüssel. Nach dem Erlöschen des Spiritus bleibt Stickstoff unter dem Trichter zurück. Hält man nun eine brennende Wachskerze über den Trichter, lüftet den Kork und drückt den Trichter langsam tiefer in die Schüssel, damit das Gas gegen die Flamme ströme, so erlischt dieselbe auffallend schnell und ohne Hinterlassung eines glimmenden Dochtes.

Bereitet man ferner in einem Glase, das sich mit einem größeren Kork verschließen läßt, auf dieselbe Weise Stickstoff, setzt den Kork unter Wasser auf, kehrt das Glas um und taucht einen glimmenden Holzspan in das Glas, so erlischt er augenblicklich.

Stickstoff ist demnach weder brennbar, noch fähig, die Flamme zu unterhalten. Kleine Thiere, die man in Gefäße mit Stickstoff brachte, erstickten. Daher der Name Stickstoff. Gleichwohl ist der Stickstoff weder schädlich, noch giftig; er vermag, wie andere Gase, nur darum nicht das Brennen und Athmen zu unterhalten, weil zu beiden Sauerstoff gebraucht wird. Wir athmen neben dem Sauerstoff fortwährend Stickstoff ein und

aus, ohne nachtheilige Folgen zu bemerken. Die Einhüllung des Sauerstoffs in eine größere Menge Stickstoff, wie sie in unserer Atmosphäre statthat, ist für das Bestehen der irdischen Dinge durchaus nothwendig. Hätten wir eine Atmosphäre von reinem Sauerstoff, dann würde jede Flamme zum unauslöschlichen Brande werden, und die Lebenskraft der lebenden Wesen würde sich in Kurzem aufzehren. Thiere, die man längere Zeit reinen Sauerstoff athmen ließ, schienen sich anfangs sehr wohl zu fühlen, dann aber krank zu sein; ihre Lungen waren entzündet, und ihr Blut in ungewöhnlicher Weise geröthet.

Der Kohlenstoff.

§. 246. Arten der Kohle.

Die Kohle oder der Kohlenstoff (Carbonium, bezeichnet durch C) ist ein fester Stoff, der sich in der Natur selten ganz rein vorfindet. Wie die Menschenhand die seidenen Fäden zu Schnüren zusammendreht oder kreuzweise zu Gewändern verwebt oder in mannichfachen Verschlingungen zu kunstreichen Stickereien verarbeitet, so daß die gleichen Fäden dem Auge in verschiedenen Gestalten erscheinen, so stellt uns die Natur die Kohle in drei Gestalten dar, die auf den ersten Blick unter einander wenig Aehnlichkeit haben. Sie erscheint als Diamant, als Graphit und als Pflanzen- und Knochenkohle.

Der Diamant ist farbloser Kohlenstoff, den seine Härte, seine regelmäßige Gestalt und sein wundervoller Glanz zu dem kostbarsten Edelstein erheben. So sehr auch sein Aussehen von dem anderer Kohlen verschieden ist, so lehrt doch seine Verbrennung, daß er die reinste Kohle ist. Der große französische Chemiker Lavoisier, der später, in der Zeit der ersten französischen Revolution, ein schuldloses Opfer der Guillotine geworden ist, füllte große Glasgefäße mit reinem Sauerstoff und brachte Diamanten hinein. In der durch große Brenngläser hervorgebrachten Hitze verbrannten die Diamanten mit glimmendem Lichte. Es zeigte sich, daß durch ihre Verbindung mit Sauerstoff nichts Anderes sich bildet, als bei der Verbrennung anderer Kohlen (§. 233 b), nämlich Kohlensäure.

Ziemlich reine, mit wenig Eisen verbundene Kohle ist der Graphit, das Reisblei, jenes blauschwarze Mineral, aus dem unsere Bleistifte gearbeitet werden. Er findet sich am reinsten und dichtesten in England, wird durch dünne Sägen zu Streifen zerschnitten, in die mit Leim bestrichene Rinne des Holzstäbchens gelegt und mit einem dünneren Stäbchen überleimt.

Die dritte Gestalt, in welcher die Kohle noch weniger rein vorkommt, ist die organische Kohle; alle Pflanzen und Thiere bestehen zum Theil aus Kohle, die mit anderen Stoffen chemisch verbunden ist.

§. 247. Bereitung von organischer Kohle.

Versuch. Ein Stück Leinwand werde angezündet und, sobald die Flamme hell auflodert, mit einem anderen, darauf gedrückten Stück ausgelöscht. Von der aus einem Pflanzenstoff bestehenden Leinwand ist Zunder, Kohle, übrig geblieben. Durch das Ausdrücken ist das vollständige Verbrennen gehindert worden.

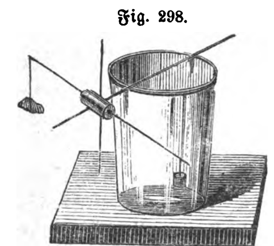
Nehmen wir mit der Zange ein brennendes Holzstück aus dem Feuer und tauchen es in Wasser, so hindern wir ebenfalls das weitere Verbrennen. Die Pflanzenkohle wird durch eine unvollständige Verbrennung hergestellt. Im Großen verschafft man sich Holzkohlen durch unvollständige Verbrennung in Meilern. Man lehnt rings um einen lothrecht eingeschlagenen Pfahl große Holzstücke, stellt auf die unterste Schicht noch eine oder zwei und überdeckt den ganzen halbkugelförmigen Holzstoß mit Laub, Rasen oder Erde. Zum Anzünden läßt man eine Oeffnung frei und giebt der Decke kleinere Oeffnungen, damit nur wenig Luft Zutritt habe. Ist die Verkohlung vor sich gegangen, so erstickt man das Feuer, indem man alle Oeffnungen verschließt. Knochenkohlen, das sogenannte Elfenbeinschwarz, werden durch Glühen in eisernen Retorten, ähnlich den bei der Gasbeleuchtung angewandten, bereitet.

Zu den Pflanzenkohlen gehören auch die Steinkohlen und Braunkohlen. Sie sind durch gewaltige Erdrevolutionen begrabene und durch Fäulniß langsam verkohlte Bäume und Pflanzenanhäufungen der Vorzeit. An vielen dieser Kohlenarten ist bei genauer Untersuchung die Pflanzentextur zu erkennen.

§. 248. Absorptionsvermögen der Kohle.

Versuch a. Eine frisch ausgeglühte Holzkohle wird an den einen Arm der für §. 12 a. d und 86 aus Drähten zusammengesetzten Wage gehängt und durch einen an den anderen Arm befestigten Körper ins Gleichgewicht gebracht. Darauf legt man die beiden Arme der Wage mitten über das Glas, so daß sie sich nicht bewegen können, stellt ein Trinkglas mit Wasser neben die Kohle und läßt sie einen Tag lang hängen. Legt man nach Verlauf dieser Zeit die Axe der Wage so auf das Glas, daß sie sich frei bewegen kann, so zeigt sich, daß die Kohle schwerer geworden ist. Sie hat Wasserdampf und Luft aufgenommen oder absorbirt. Luftförmige Körper haben eine große Adhäsion an die Kohle, sie dringen, wie das Wasser in einen Schwamm, in deren Zwischenräume ein und werden von ihr festgehalten.

Fig. 298.



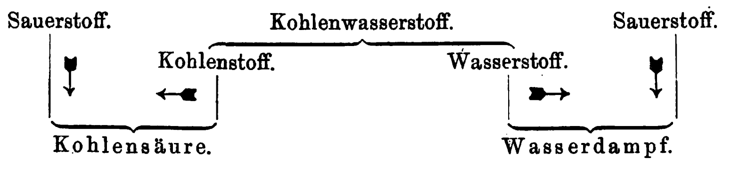
Versuch b. Man belegt einen Trichter inwendig mit Löschpapier und schüttet darauf frisch geglühte Kohlen, die man zu einem Pulver zerstoßen hat. Gießt man Wasser, das durch Tinte gefärbt ist, hindurch,

so wird es viel blasser aus dem Trichter ablaufen. Die Kohle absorbirt also auch Farbstoffe; dasselbe geschieht mit riechenden Stoffen. Die Knochenkohle besitzt diese Eigenschaft in viel höherem Maße und wird benutzt, um dem Zuckersaft seine braune Farbe, dem Branntwein und Wasser seinen üblen Geruch zu nehmen.

§. 249. Kohlenwasserstoff oder Leuchtgas.

Versuch. Einen Probircylinder von 15 Cm. Länge fülle man zur Hälfte mit zerstoßenen Steinkohlen oder mit feinen Holzspänen an. Auf den Cylinder wird ein mit der Feile durchbohrter Kork gesetzt, durch den eine Spritzröhre oder ein kurzes Stück von einem thönernen Pfeifenrohr geschoben ist, das nur wenig in den Cylinder hineinragt. Nachdem man denselben in der Nähe des Korks mit Papier oder Bindfaden umwickelt hat, um die Hand vor der Wärme zu schützen, halte man ihn über eine brennende Spirituslampe. Es entwickelt sich in dem Cylinder ein luftförmiger Körper, der aus der Röhre hervordringt und einen unangenehmen Geruch hat. Hält man ein brennendes Licht vor die Röhre, so fängt das herausströmende Gas an, mit hell leuchtender Flamme zu brennen. Es ist Kohlenwasserstoff oder Leuchtgas, das sich in der Hitze aus der Holz- oder der Steinkohle bei ihrer unvollkommenen Verbrennung ausscheidet, und besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Wird das Leuchtgas angezündet und dadurch genöthigt, sich mit dem Sauerstoff der Luft zu vereinigen, so entsteht durch die Verbrennung Kohlensäure und Wasserdampf nach folgendem Schema:

Fig. 299.



§. 250. Die Gasbeleuchtung.

Im Großen ist der Kohlenwasserstoff oder das Leuchtgas durch unvollständige Verbrennung von Steinkohlen zuerst in England gewonnen worden, woselbst Watt und Boulton im Jahre 1802 zur Beleuchtung ihrer Dampfmaschinenfabrik in Soho bei Birmingham eine Gasbeleuchtungsanstalt einrichteten. Zwölf Jahre später wurde die Gasbeleuchtung in London, im Jahre 1815 zu Paris und 1826 in Berlin eingeführt.

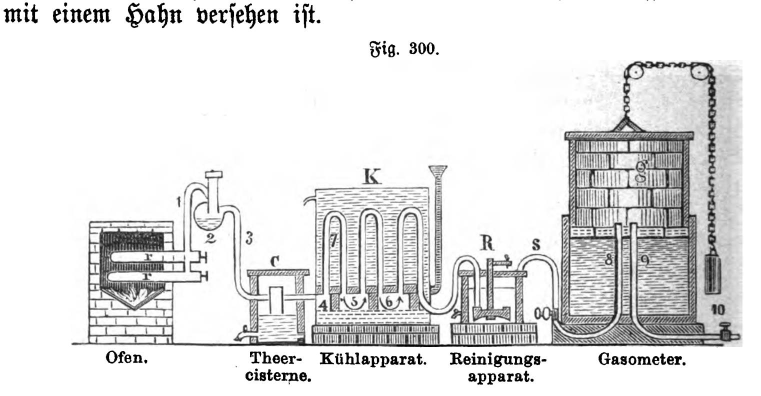
Die Steinkohlen, welche zur Gasbereitung verwandt werden, müssen möglichst wenig Schwefel enthalten und, wenn man sie verbrennt, eine geringe Menge Asche zurücklassen. Sie sehen pechschwarz aus und heißen Backkohlen, weil sie in der Hitze sich aufblähen und zusammenbacken.

In England eignen sich am besten die Kohlen von Newcastle; bei uns werden sächsische, schlesische und rheinische Kohlen benutzt.

Die Erhitzung oder unvollständige Verbrennung der Steinkohlen geschieht in gußeisernen oder thönernen Retorten, die auf der linken Seite der Figur dargestellt und mit r bezeichnet sind. Es sind 60 Cm. weite Röhren von 2,6 M. Länge, die in horizontaler Lage über dem Feuerraum eines Ofens so eingemauert sind, daß das Feuer sie auf allen Seiten umspielen kann. Jeder Ofen enthält 3 bis 12 Retorten; in großen Gasbeleuchtungsanstalten stehen daher mehrere Oefen neben einander. Die Retorten werden in Rothglühhitze versetzt und, nachdem die Steinkohlen eingebracht sind, durch einen Deckel verschlossen und mit Lehm verkittet. Durch die starke, gleichmäßige Hitze, in welcher die Retorten erhalten werden, wird aus den Steinkohlen Gas entwickelt; etwa nach 6 Stunden nimmt man die verkohlten Steinkohlen heraus und ersetzt sie durch frische. Die des Gases beraubten, verkohlten Steinkohlen heißen Koks und finden als Heizungsmaterial Anwendung.

Aber das entwickelte Gas ist unrein und enthält noch Dämpfe von Steinkohlentheer, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und andere Gase und Dämpfe. Die Dämpfe können dadurch entfernt werden, daß man sie abkühlt, wobei sie in eine tropfbare Flüssigkeit sich verwandeln. Aus den Retorten läßt man das Gas in einer metallenen Röhre (Nr. 1) zuerst nach oben, dann abwärts durch die Röhre Nr. 3 strömen. Es kühlt sich unterwegs ab; die Dämpfe von Steinkohlentheer gehen zum großen Theil schon in dem Gefäß Nr. 2 in tropfbaren Zustand über, und der Steinkohlentheer fließt in einen ringsum verschlossenen eisernen Behälter c ab, welcher die Theercisterne heißt und zum Ausfließenlassen des Theers mit einem Hahn versehen ist.

Fig. 300.



Nach dieser ersten Abscheidung von Theer wird das Gas in den Kühlapparat geleitet, in welchem es durch kaltes Wasser weiter abgekühlt und vom Theer völlig befreit wird. Der Kühlapparat K ist ein großer eiserner Kasten, der nicht weit über seinem unteren Boden einen zweiten Boden enthält und durch denselben in zwei Räume, einen oberen und einen unteren abgetheilt wird. Der untere Raum zerfällt wieder

in eine große Zahl von Kammern; sie werden durch lothrechte Wände von einander geschieden, die von dem höher liegenden Boden nicht ganz bis auf den untersten Boden, sondern nur bis in die über demselben stehende Flüssigkeit hinabreichen, und sind mit Nr. 4, 5 und 6 bezeichnet. Das Gas, das in die erste, mit Nr. 4 bezeichnete Kammer unmittelbar unter dem höher liegenden Boden einströmt, kann also keineswegs sogleich in die zweite Kammer Nr. 5 gelangen und findet den nächsten Weg dorthin durch die lothrechte Wand und das Wasser versperrt; es soll erst einen großen Umweg machen und, indem es in Röhren, die von kaltem Wasser umspült sind, auf- und absteigt, immer mehr abgekühlt werden. Es strömt nämlich aus der ersten Kammer innerhalb einer heberartig gekrümmten Röhre Nr. 7, die sich in dem oberen Raum des Kühlapparats befindet, zuerst empor und, schon etwas abgekühlt, abwärts in die zweite Kammer; aus dieser gelangt es auf ähnlichem Wege in die dritte und kommt nicht eher aus dem Kühlapparat, bis es alle Röhren und Kammern durchlaufen und an deren Wände die zu Flüssigkeit gewordenen Dämpfe abgesetzt hat. Durch die hohe Röhre zur Rechten fließt unten in den oberen Raum des Kühlapparats kaltes Wasser und fließt, wenn es wärmer geworden ist, oben auf der entgegengesetzten Seite wieder ab.

Wenn das Gas den Kühlapparat verlassen hat, dann sind ihm besonders noch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff beigemischt. Es muß noch einer Reinigung unterworfen werden. Als Reinigungsapparat R diente ursprünglich ein eiserner, auf allen Seiten verschlossener Cylinder, der mit Kalkwasser gefüllt war. Damit die Kalktheilchen sich nicht zu Boden senkten, war in dem Reinigungsapparat eine Vorrichtung zum Umrühren des Kalkwassers, eine Anzahl Schaufeln, angebracht, deren gemeinsame Axe luftdicht oben durch den Cylinder ging und mit Hülfe einer Kurbel oder gezahnter Räder durch Arbeiter ununterbrochen gedreht wurde. Das Gas strömt in das Kalkwasser, giebt an den Kalk die fremden Stoffe ab und steigt gereinigt empor. Statt dieser nassen Reinigung wird heutzutage häufiger die trockene angewandt. Das Gas strömt dabei aus dem Kühlapparat in die Reinigungskasten; diese enthalten 3 oder 4 siebartige, wagerechte Zwischenböden, auf denen ein pulverförmiges Gemenge von Kalk, Eisenvitriol und Sägespänen ausgebreitet ist. Haben diese Materialien ihre Wirksamkeit verloren, so werden sie dadurch wieder brauchbar, daß man sie der Luft aussetzt; sie können 20 bis 30 Mal gebraucht werden.

Durch die Röhre Nr. 8 dringt das Gas in den zu seiner Aufbewahrung bestimmten Behälter, in das Gasometer g. Das Gasometer ist ein unten offener, oben verschlossener Cylinder aus Eisenblech von bedeutender Größe und hängt an einer Kette, die über zwei Rollen führt und an ihrem Ende mit Gewichten beschwert ist. Dieser umgekehrte Cylinder taucht mit seiner Oeffnung in einen etwas größeren Wasserbehälter. Die Gasleitungsröhre Nr. 8 mündet über dem Wasserspiegel desselben, das Gas steigt in das Gasometer und hebt den oberen Cylinder empor. Neben der in das Gasometer führenden Röhre mündet eine

andere, Nr. 9, das mit einem Hahn versehene Hauptrohr. Soll das Gas verwendet werden, so wird der Hahn der Röhre Nr. 8 geschlossen, wenn sie nicht statt dessen mit einem Ventil versehen ist, das dem Gase den Rückweg versperrt, das Gasometer mit einem Gewicht beschwert, und der Hahn Nr. 10 des Hauptrohrs geöffnet. Wegen seiner Schwere drückt das Gasometer das Gas zusammen und nöthigt es, in das Hauptrohr auszuströmen. Aus dem Hauptrohr gelangt es durch kleinere, zum Theil in der Erde liegende Nebenröhren zu den Laternen oder in die Zimmer, wo das Gas gebrannt werden soll. Durch einen Hahn wird die Oeffnung jeder Nebenröhre so lange verschlossen gehalten, bis das Gas angezündet werden und leuchten soll.

§. 251. Die Flamme.

Versuch a. Man thue in einen Probircylinder ein wenig Brennöl oder Wachs oder Talg, versehe den Cylinder, wie bei dem mit Holz oder Steinkohlen angestellten Versuch (§. 249), mit einer durch den Kork führenden Röhre und erhitze die Masse stark auf die dort angegebene Weise. Es entwickelt sich ein luftförmiger Körper, derselbe Kohlenwasserstoff (Leuchtgas), und brennt angezündet mit heller Flamme.

Daraus folgt, daß aus allen unseren gewöhnlichen Brennstoffen bei einem höheren Wärmegrad sich Kohlenwasserstoff entwickelt. Derselbe geht in der Hitze eine chemische Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft ein und bildet, während er sich mit ihm verbindet, die Erscheinung des Feuers oder der Flamme.

Versuch b. Es werde ein Wachsstock und ein Licht angezündet. Haben sie kurze Zeit gebrannt, so blase man den Wachsstock aus; es erscheint jetzt der Kohlenwasserstoff, dem man die zum Verbrennen nöthige Wärme genommen hat, und läßt sich an dem Lichte wieder anzünden.

Wenn wir eine Kerze oder eine Lampe anzünden, so thun wir nichts Anderes, als daß wir dem Brennstoff einen höheren Wärmegrad mittheilen. Dadurch bereiten wir uns aus demselben Gas; jede Kerze und jede Lampe ist daher ein Gasbeleuchtungsapparat. Halten wir Eisen in eine Flamme, so theilen wir ihm ebenfalls Wärme mit, es beginnt zu glühen; aber es entwickeln sich aus ihm keine brennbaren Gase, es erscheint keine Flamme. Während alle Körper, aus denen sich in der Hitze kein Gas entwickelt, nur glühen können, ist das Feuer eine chemische Erscheinung, bei welcher sich Gase entwickeln und mit einem andern Gas verbinden. Wie sie im gewöhnlichen Leben vorkommt, ist die Flamme die vor sich gehende Verbindung des Kohlenwasserstoffs mit dem Sauerstoff der Luft.

§. 252. Die Kerzenflamme.

An einer Wachskerze zünden wir zunächst den Docht an und entwickeln aus ihm Kohlenwasserstoff, so daß er mit Flamme brennt. Durch die Wärme derselben werden die dem Dochte benachbarten Wachstheilchen

geschmolzen, und es bildet sich um ihn eine mit flüssigem Wachs angefüllte Vertiefung, während der Rand der Kerze länger stehen bleibt und erst nach und nach schmilzt. Das geschmolzene Wachs steigt in den Zwischenräumen des aus baumwollenen Fäden gedrehten Dochtes wie in Haarröhrchen (§. 85) empor, kommt der Flamme näher und wird durch ihre Hitze in Kohlenstoff und Wasserstoff zersetzt. Beide Stoffe verbinden sich mit dem Sauerstoff der Luft und bilden eine größere Flamme, deren Wärme groß genug ist, um auch die folgenden Wachstheilchen in Gas umzuwandeln.

An einer Kerzenflamme sind drei Theile zu unterscheiden: 1) im Innern der Flamme ein **dunkler Kern**, bestehend aus nicht brennendem Kohlenwasserstoff. 2) Der dunkle Kern ist ringsum von dem **hell leuchtenden Lichtkegel** eingehüllt, und um diesen breitet sich 3) der kaum bemerkbare **äußere Schleier** der Flamme aus. Zu dem dunklen Kern vermag der Sauerstoff der Luft nicht zu dringen, eine geringe Menge tritt in den mittleren Lichtkegel, noch mehr zu dem äußeren Schleier. Während deshalb der innere Kern der Flamme gar nicht brennen kann, findet auch in dem Lichtkegel (Nr. 2) bei dem unvollkommenen Zutritt des Sauerstoffs keine vollkommene Verbrennung Statt; den Lichtkegel bildet eine Wasserstoffflamme; die nicht verbrennenden Kohlentheilchen aber werden ausgeschieden und gerathen in Weißglühhitze. **Das Glühen der feinen Kohlentheile** in dem leuchtenden Lichtkegel bewirkt das Leuchten der Flamme. In dem äußeren Schleier (Nr. 3) endlich hat der Sauerstoff der Luft zu dem Wasserstoff und Kohlenstoff freien Zutritt; hier verbrennen beide vollständig und bewirken die **größte Hitze**, wie man leicht sehen kann, wenn man einen Draht quer durch die Flamme hält; er glüht in dem äußeren Schleier der Flamme, nicht aber im Innern derselben. Ihre zugespitzte Form erhält die Flamme durch das Aufsteigen der Gase und der atmosphärischen Luft; der sich entwickelnde Kohlenwasserstoff würde sich kugelförmig ausbreiten, wenn er nicht wegen seiner Leichtigkeit emporsteigen müßte, zugleich steigt die heiße Luft in der Umgebung der Flamme in die Höhe, an ihre Stelle strömt zuerst von unten her und dann vom Rande der Kerze etwas schräg neue Luft der Flamme zu und giebt ihr eine kegelförmige Begrenzung.

Fig. 301.

§. 253. Die Argand'sche Lampe.

Fig. 302.



Die Flamme einer Lampe mit breitem, plattem Dochte ist von der einer Kerze wenig verschieden. Auch bei ihr zieht die atmosphärische Luft mit ihrem Sauerstoff nur auswendig vorüber und gelangt nur zu dem äußeren Schleier und mittleren Lichtkegel; der dunkle innere Kern aber bleibt. Ließe man die Luft auch durch den dunklen Kern ziehen, so würde derselbe wegfallen, der darin enthaltene Kohlenwasserstoff verbrennen und ein helleres Licht bewirken.

Dies geschieht durch Anwendung eines hohlen, runden

Dochtes und doppelter Luftlöcher. Bei den von dem Schweizer Argand erfundenen Lampen mit doppeltem Luftzug strömt die Luft erstlich auswendig zum Dochte und außerdem durch die zweite Reihe von Luftlöchern von unten her durch das Innere des Dochtes zur Flamme.

§. 254. Der Rauch.

Bei einer vollständigen Verbrennung entwickeln sich aus den Brennmaterialien luftförmige Stoffe und verbinden sich mit einem andern zu neuen luftförmigen Stoffen, die zusammen aufsteigen und mit dem Gesammtnamen Rauch bezeichnet werden. Außerdem hinterlassen die Pflanzenstoffe beim Verbrennen einen Rückstand, den wir Asche nennen. Die Asche besteht aus den Mineralien, welche die Pflanze während ihres Wachsthums dem Boden entzogen hat. Unter denselben sind Pottasche und Soda, Kalk, Kieselerde und phosphorsaurer Kalk vorherrschend.

Versuch a. Ueber ein brennendes Licht halte man eine Flasche, so daß der unsichtbare Rauch der Flamme hineinsteigt. Bald beschlagen die inneren Wände mit Wassertropfen. Der Rauch enthält also Wasser, das in Dampfform aufsteigt und an den kalten Wänden der Flasche tropfbarflüssig wird. Da in der Flamme Kohlenwasserstoff sich mit Sauerstoff verbindet, muß durch Verbindung des Wasserstoffs mit dem Sauerstoff sich Wasser bilden. Kohle und Sauerstoff giebt Kohlensäure; daß dieselbe wirklich im Rauch vorhanden ist, erkennen wir, wenn wir in jenes über die Flamme gehaltene Glas Kalkwasser (§. 233 b) gießen und umschütteln; es wird trübe, und es sinkt, wenn es ruhig steht, darin kohlensaurer Kalk nieder. Der an der Flamme vorüberziehenden atmosphärischen Luft wird der Sauerstoff entzogen; es bleibt mithin Stickstoff übrig. In dem Rauch findet sich Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff, gleichviel ob der Rauch durch Verbrennung von Holz oder Steinkohlen gebildet wird oder unsichtbar von einer Kerze oder Lampe aufsteigt.

Versuch b. Wenn man über eine Oellampe oder eine Kerzenflamme einen Blechlöffel oder ein Messer dergestalt hält, daß die Flamme niedergedrückt wird, so nimmt das Metall, das ein guter Wärmeleiter ist, eine große Menge Wärme auf und kühlt die Flamme ab. Ihre Wärme ist dann nicht mehr groß genug, um die in ihr schwebenden, feinen Kohlentheilchen zu verbrennen, sie setzen sich an das Metall und bilden Ruß. Dasselbe tritt ein, wenn der Flamme nicht Sauerstoff genug zugeführt wird, wie in unseren Oefen, wo stets ein Theil der Kohle nicht verbrennt, mit dem Rauch fortgeführt wird und sich in den Röhren und Schornsteinen absetzt. Der Ruß ist unser bekanntester schwarzer Farbestoff und wird zu Tusche und Druckerschwärze verarbeitet.

§. 255. Das Löschen des Feuers.

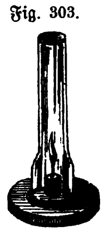
Da das Verbrennen oder Verbinden mit Sauerstoff nur erfolgt, wenn der brennende Körper einen höheren Wärmegrad besitzt, und der

Sauerstoff der Luft zu ihm gelangen kann, so läßt sich das Feuer dadurch löschen, daß man die Wärme oder den Sauerstoff wegnimmt.

Versuch a. Wie in dem vorhergehenden Versuch, halte man einen Blechlöffel in eine Lichtflamme. Sie wird durch das kältere Metall desto mehr abgekühlt und desto kleiner, je tiefer man den Löffel hält; endlich erlischt sie, während die Luft auf den beiden Seiten noch Zutritt hat, weil ihr die Wärme entzogen ist.

Versuch b. Ein kurzes Licht wird auf den Tisch gestellt und ringsherum etwa zwei Finger breit unten mit einer Schicht Sand umgeben. Zündet man das Licht an und stellt einen Lampencylinder so darüber in den Sand, daß keine Luft zu der Flamme gelangen kann, so erlischt sie.

Fig. 303.



Läßt man unten zwischen dem Cylinder und der Tischplatte einen Raum frei, so brennt die Flamme, wie in den mit Zuglöchern und Cylindern versehenen Lampen, heller, weil die von unten her kommende, an der Flamme erhitzte Luft sich dann nicht nach allen Seiten ausbreiten kann, sondern nach oben ziehen und, stärker erwärmt, schneller aufsteigen muß. Die Folge davon ist, daß der sauerstoffbringende Luftzug vermehrt wird; dasselbe bewirken die Schornsteine.

Versuch c. Ein brennendes Schwefelholz stecke man mit dem angezündeten Ende in einen Haufen Sand oder in die Asche in einem Aschbecher. Dadurch wird die Luft von der Flamme abgesperrt, und dieselbe wird erlöschen.

Feuer läßt sich durch Abkühlung oder durch Absperrung der Luft löschen. Beim Löschen mit Wasser werden beide Mittel zugleich in Anwendung gebracht; durch den geringen Wärmegrad und besonders durch die Verdunstung des Wassers wird die Flamme abgekühlt, und außerdem der Zutritt der Luft gehemmt. Brennende Gebäude sucht man so einzureißen, daß der Sitz der Flamme verschüttet und gegen das Hinzutreten frischer Luft abgesperrt wird. Die Oeffnungen brennender Schornsteine oder Keller verschließt man durch nasse Säcke oder nassen Sand; brennendes Fett oder Oel wird durch Ueberdecken eines festen Körpers gelöscht, während es auf hineingegossenem Wasser schwimmen, dasselbe durch seine Hitze in Dämpfe verwandeln und durch dieselben brennend nach allen Seiten umhergeschleudert werden würde. Beim Löschen eines Lichtes mit der Lichtscheere oder durch Ueberdecken einer Glocke wird gleichfalls die Luft abgesperrt.

Wird die Luft von glimmenden Kohlen so abgesperrt, daß nur wenig Luft zu ihnen gelangen kann, dann fehlt es an Sauerstoff, mit welchem die Kohlen sich verbinden und Kohlensäure bilden könnten. Bei mangelndem Luftzutritt verbindet sich die Kohle mit weniger Sauerstoff zu einer anderen Luftart, welche Kohlenoxydgas heißt. Dasselbe ist, wenn es eingeathmet wird, giftig und todbringend. Es entsteht in Kohlenbecken, weil die über den Kohlen liegende Asche der Luft den Zutritt erschwert, und in Oefen, sobald das Abzugsrohr durch Umdrehen

der Klappe zu früh geschlossen ist, wodurch das sich bildende giftige Gas ins Zimmer zu strömen genöthigt wird. Das Kohlenoxydgas brennt in kleinen, bläulichen Flammen.

Die Elemente.

§. 256. Die Elemente.

Die vorhergehenden Experimente haben gelehrt, daß die zusammengesetzten Körper, wie sie in der Natur vorkommen, sich in einfachere Körper zerlegen lassen. Der Sauerstoff ward entwickelt, indem das Quecksilberoxyd in die einfachen Körper, Quecksilber und Sauerstoff, zersetzt wurde; der Wasserstoff wird durch Zersetzung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff bereitet; die Kohle wird durch Zerlegung der Pflanzenstoffe in Kohle und luftförmige Bestandtheile gewonnen, während der Stickstoff sich leicht aus dem Gemenge der atmosphärischen Luft ausscheiden läßt. Vermögen wir nun auch diese vier Stoffe, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohle und Stickstoff, wieder zu zersetzen und in einfachere Stoffe zu zerlegen? Keineswegs; wir rechnen daher jene vier Stoffe, welche die Hauptbestandtheile aller Pflanzen nnd Thierkörper ausmachen, zu den einfachen Stoffen oder Elementen.

Stets erhält man beim Zersetzen der zusammengesetzten Körper zuletzt solche Körper, die sich nicht in einfachere zerlegen lassen und deshalb Elemente genannt werden. Wie wir aber dahin gelangt sind, zu erkennen, daß von den alten Elementen das Feuer eine zusammengesetzte Erscheinung, die Luft ein Gemenge, und Wasser und Erde zusammengesetzte Stoffe sind, so kann es auch durch spätere Versuche gelingen, einzelne Körper zu zersetzen, welche wir heutzutage für einfache Stoffe halten.

Bis jetzt kennt man 65 Elemente, von denen die einen metallischen Glanz zeigen und Metalle genannt werden, während die übrigen Nichtmetalle oder Metalloïde heißen. Die Metalle werden in leichte und schwere eingetheilt; unter den Metalloïden werden luftförmige, flüssige und feste unterschieden. Ungefähr die Hälfte der Elemente kommt in der Natur höchst selten vor; folgendes sind die wichtigsten Elemente.

I. Metalloïde.

A. Luftförmige:
1. Sauerstoff (O = Oxygenium).
2. Wasserstoff (H = Hydrogenium).
3. Stickstoff (N = Nitrogenium).
4. Chlor (Cl).

II. Metalle.

A. Leichte:
1. Kalium (K).
2. Natrium (Na).
3. Calcium (Ca).
4. Aluminium (Al).

B. Flüssige:
5. Brom (Br).

C. Feste:
6. Jod (J).
7. Kohlenstoff (C=Carbonium).
8. Schwefel (S=Sulphur).
9. Phosphor (P).
10. Kiesel (Si=Silicium).

B. Schwere:
5. Eisen (Fe=Ferrum).
6. Zinn (Sn=Stannum).
7. Zink (Zn=Zincum).
8. Blei (Pb=Plumbum).
9. Wismuth (Bi=Bismuthum).
10. Antimon (St=Stibium).
11. Kupfer (Cu=Cuprum).
12. Quecksilber (Hg=Hydrargyrum).
13. Silber (Ag=Argentum).
14. Gold (Au=Aurum).
15. Platin (Pt).

Die Zahl der chemischen Erscheinungen ist so groß, daß die Lehre von denselben oder die Chemie sich zu einer besonderen, umfangreichen Wissenschaft ausgebildet hat. Einigen kurzen Andeutungen möge hier noch eine Stätte vergönnt sein.

Einige der übrigen Metalloïde.

§. 257. Das Chlor.

Das Chlor ist ein blaßgrünes, beim Einathmen giftiges Gas und bildet den Hauptbestandtheil des Kochsalzes. Es zeichnet sich durch seine große Verwandtschaft zum Wasserstoff aus und zerstört, indem es ihnen denselben entreißt, sowohl Pflanzenfarben, als auch riechende Stoffe. Zur Anwendung kommt es in einer Zusammensetzung, in dem Chlorkalk, der als ein weißes Pulver im Handel zu haben ist.

Versuch a. Man übergieße etwas Chlorkalk mit der zwanzigfachen Gewichtsmenge Wasser und tauche in die Flüssigkeit ein Stück Papier, das Flecke von Rothwein hat, oder ein mit Pflanzenfarben bedrucktes Stückchen Kattun. Nach einigen Stunden nimmt man es heraus und findet seine Farben bleicher. Schneller tritt die bleichende Wirkung ein, wenn man einige Tropfen verdünnter Schwefelsäure in die Flüssigkeit thut. Läßt man das Zeug längere Zeit darin liegen, so wird es zerfressen.

Bei der Chlorbleiche wird der Chlorkalk in großen Mengen angewendet, um Leinwand, baumwollene Zeuge und besonders die Lumpen schnell zu bleichen, aus denen Papier gefertigt wird. Die Leinwand erhält gemeiniglich zuerst die bekannte Rasenbleiche, bis sie halbweiß geworden ist; hierauf kommt sie 12 bis 24 Stunden in die aus Chlorkalk und Wasser bereitete Bleichflüssigkeit, wird nach dem Herausnehmen sorgfältig ausgespült und auf 24 Stunden in ein Sauerbad von verdünnter

Schwefelsäure gelegt. Wieder ausgespült, wird sie mit Lauge gebeucht und einige Tage auf dem Rasenplatz ausgebreitet und mit Wasser benetzt. Darauf erhält die Leinwand in derselben Reihenfolge noch ein Chlorbad, ein Sauerbad, eine Beuche und wird auf der Wiese ausgelegt. Mehr, als zwei Chlorbäder wendet man ungern an, weil sie der Festigkeit und Haltbarkeit des Gewebes schaden. Aus demselben Grunde muß auch alles Chlor sorgfältig ausgewaschen und entfernt werden.

Versuch b. In eine Untertasse, die Branntwein enthält, thue man eine kleine Messerspitze Chlorkalk, er wird dem Branntwein seinen Fuselgeruch nehmen. Chlor zerstört riechende Stoffe, daher weißt man dumpfige Keller mit Chlorkalk, der mit Wasser eingerührt ist; dem Dünger nimmt man den Geruch durch ausgestreuten Chlorkalk. Um Krankheitsstoffe zu zerstören, räuchert man mit Chlor, indem man Chlorkalk in eine Schale thut und mit wenigen Tropfen verdünnter Salzsäure oder Schwefelsäure benetzt, worauf sich Chlor entwickelt.

Aus Chlorkalk, Wasser und Spiritus wird das Chloroform bereitet, das als Betäubungsmittel bei chirurgischen Operationen vielfache Anwendung gefunden hat. Es ist eine, gleich dem Wasser durchsichtige und farblose, angenehm äpfelartig riechende Flüssigkeit, deren eingeathmete Dämpfe einen Zustand der Bewußtlosigkeit hervorrufen.

§. 258. Brom und Jod.

Die beiden Elemente Brom und Jod sind beisammen im Seetang und fast allen anderen Pflanzen des Meeres enthalten; außerdem findet sich Brom in manchen Mineralquellen und wird z. B. in Schönebeck bei Magdeburg aus der Lauge der dortigen Saline gewonnen.

Das Brom ist eine dunkelrothbraune, syrupdicke Flüssigkeit; schon bei geringer Wärme verwandelt es sich in gelbrothe Dämpfe von äußerst unangenehmem Geruch.

Das Jod erscheint als ein fester, dunkelbrauner Körper, der dem Graphit sehr ähnlich ist. Beim Erhitzen in einem Probircylinder verwandelt es sich in schöne, veilchenblaue Dämpfe. Mit Spiritus übergossen, bildet es eine dunkelbraune Auflösung, welche Jodtinktur heißt, die Stärke tiefblau färbt und als Kennzeichen dient, um zu erfahren, ob ein Körper Stärke enthält.

Beide Stoffe werden in Verbindung mit einander bei Anfertigung der Lichtbilder (§. 332) gebraucht und als Arzneimittel gegen die Skropheln angewandt.

§. 259. Schwefel und Phosphor.

Der Schwefel kommt in reinem, gediegenem Zustande und in Verbindung mit Eisen unter dem Namen Schwefelkies vor. Vulkanische Gegenden liefern große Massen gediegenen Schwefels; Spanien und Italien sind reich daran, und Sicilien führt alljährlich über 20000 Centner aus.

Der Schwefel hat eine hellgelbe Farbe; er brennt leicht und mit blauer Flamme. Er dient zur Bereitung der Schwefelhölzchen, des Schießpulvers, der zum Bleichen angewendeten schwefligen Säure und der Schwefelsäure.

Der Phosphor, der in seinen Eigenschaften dem Schwefel sehr ähnlich ist, wird aus Thierknochen bereitet. Er ist giftig, sieht blaßgelb aus und verbrennt bei 35 Grad Wärme R., so daß er unter Wasser aufbewahrt und zerschnitten werden muß. Wenn er fein zertheilt ist, steigen, wie man an einem schwach geriebenen Streichhölzchen sehen kann, knoblauchartig riechende Phosphordämpfe auf, die sich schon bei gewöhnlicher Luftwärme mit dem Sauerstoff der Luft verbinden und im Dunklen leuchten, ohne merkliche Wärme zu bewirken. Dies Leuchten ohne Wärmeentwickelung bei langsamer Verbrennung wird mit dem Worte „Phosphoresciren" bezeichnet. Weil er sich leicht entzündet, findet er bei Anfertigung der Streichfeuerzeuge die ausgedehnteste Anwendung. Unter Wasser dem Sonnenlicht ausgesetzt, wird der Phosphor roth, verliert seine giftigen Eigenschaften und entzündet sich erst bei größerer Wärme. Dieser rothe oder amorphe Phosphor dient sammt Schwefelantimon als Reibfläche für die schwedischen Streichhölzer (§. 344). Als Gift dient der gewöhnliche Phosphor in der dreißigfachen Menge lauwarmen Wassers geschmolzen und mit eben so viel Roggenmehl gemengt, zur Vertilgung der Ratten und Mäuse.

§. 260. Der Kiesel

Der Kiesel bildet den Hauptbestandtheil des Sandes, Quarzes und überhaupt fast aller Gesteine und macht daher nächst dem Sauerstoff die Hauptmasse der Erdrinde aus. Er findet sich in der Natur niemals rein und hat das Aussehen eines braunen Pulvers, das, wenn es erhitzt wird, verbrennt und sich mit dem Sauerstoff zu Kieselsäure (Kieselerde) verbindet. Quarz und Bergkrystall sind ziemlich reine Kieselsäure; die verschiedenen Arten von Thon und Lehm enthalten Kieselsäure und Aluminium, und aus dem Boden wird sie von den Pflanzen aufgenommen.

Die Metalle.

§. 261. Die Metalle.

Der Mensch hat einen geheimnißvollen Zug zu den glänzenden Elementen, die wir Metalle nennen, und hat sie durch zahlreiche Anwendungen sich auf die mannichfachste Weise dienstbar gemacht. Von den nicht metallischen Grundstoffen unterscheiden sie sich durch folgende Eigenschaften: 1) Alle Metalle sind undurchsichtig und werfen das Licht,

weil sie es nicht eindringen lassen, von ihrer glatten Oberfläche mit einem eigenthümlichen **Glanz** zurück. Den vorzüglichsten Metallglanz besitzt das silberweiße Platin, ferner Stahl (kohlenhaltiges Eisen), Silber, Quecksilber und Gold. 2) Sie sind sämmtlich **schmelzbar**, obschon die Wärmegrade, bei denen sie schmelzen, sehr verschieden sind. So erscheint Quecksilber schon bei gewöhnlicher Luftwärme in flüssigem Zustande und wird erst bei 31 Grad Kälte (nach Reaumur) fest; Zinn, Blei und Wismuth schmelzen bei gelindem Feuer, Eisen und Platin erst bei sehr hohen Hitzegraden. 3) Sie sind die besten **Leiter** der Wärme und der Elektricität; Wärme und Elektricität, die einer Stelle des Metalls mitgetheilt wird, geht schnell zu dem nächsten und von diesem zu den folgenden Theilchen über. Die meisten Nichtmetalle sind schlechte Leiter. 4) Alle Metalle verbinden sich mit Sauerstoff, Schwefel und Chlor.

In der Natur werden sie entweder in solchen Verbindungen, oder wie Platin und Gold, in unvermischtem, gediegenem Zustande angetroffen. Die natürlichen Verbindungen der schweren Metalle, besonders mit Sauerstoff, aus denen z. B. das Eisen auf künstlichem Wege gewonnen werden muß, heißen **Erze**, die Verbindungen der leichten Metalle **Alkalien**, zu denen Kali und Natron gehören, oder **Erden**, zu denen unter anderen der gebrannte Kalk (Calciumoxyd) und die Aluminium enthaltende Thonerde gerechnet werden.

Die **leichten** Metalle sind theils leichter, theils wenig schwerer, als Wasser. Die **schweren** Metalle verbinden sich beim Liegen an der Luft mit dem Sauerstoff derselben, wie denn z. B. die Oberfläche des Bleies, so oft man sie auch erneuert, immer wieder trübe wird, und heißen darum **unedle** Metalle. Die **edlen** Metalle, Quecksilber, Silber, Gold und Platin, bleiben an der Luft unverändert und können, wenn sie in der Hitze mit Sauerstoff verbunden worden sind, auch durch Erhitzung wieder leicht von demselben befreit werden.

Zusammengesetzte unorganische Körper.

§. 262. I. Die Säuren.

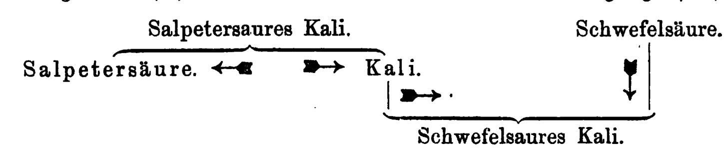
Die Hauptklassen der zusammengesetzten Körper sind die **Säuren**, die **Basen**, die **Salze** und die **indifferenten Stoffe**.

Aus der großen Zahl der Oxyde oder Sauerstoffverbindungen sind die Oxyde der Nichtmetalle meistens **Säuren** und zeichnen sich durch ihren **sauren** Geschmack und dadurch aus, daß sie Lackmustinktur und andere blaue Pflanzenfarben **roth** färben.

1) Die wichtigste unter allen Säuren, die **englische Schwefelsäure**, wird in England durch Verbrennen des Schwefels unter Zutritt von atmosphärischer Luft und Wasserdämpfen mit Hülfe von Salpetersäure bereitet.

Der Schwefel wird in eisernen Oefen verbrannt, und die dadurch entstandenen weißen Dämpfe von schwefliger Säure werden durch ein Abzugsrohr in die Bleikammern geleitet. Ein unheimliches Gefühl bemächtigt sich des Fremden, der zum ersten Mal jene riesenhaften Kammern beschaut, die im Innern ganz mit Blei überkleidet sind und bei einer Breite von 12 M. mehr, als 30 M. Länge haben. Unten auf dem Boden der Kammern steht einige Centimeter hoch Wasser, und in einer derselben sind Schüsseln mit Salpetersäure aufgestellt. Die schweflige Säure bedarf noch mehr Sauerstoff, um zu Schwefelsäure zu werden, und raubt ihn nach dem Recht des Stärkeren der Salpetersäure, die aus der Luft ihren Verlust zu ersetzen sucht und immer wieder von Neuem beraubt wird; sie dient als Vermittler, um den fehlenden Sauerstoff herbeizuschaffen und abzugeben. Die heißen Wasserdämpfe, die aus einem Dampfkessel ununterbrochen in die Kammer strömen, verdichten sich gemeinsam mit der entstandenen Schwefelsäure an den kalten Bleiwänden und rinnen als verdünnte Schwefelsäure in das auf dem Boden der Kammer stehende Wasser. Um sie in starke oder concentrirte Schwefelsäure zu verwandeln, dampft man in großer Hitze das Wasser ab; es verwandelt sich leichter, als die Säure, in Dämpfe und entweicht zum größten Theil. Dies Abdampfen geschieht in Kesseln von Platin, von denen jeder mehrere Tausend Mark werth ist. Die Bereitung der Säure geschieht mit bedeutendem Vortheile, da man aus einem Centner Schwefel drei Centner Schwefelsäure gewinnt. Sie wird zur Herstellung der Stearinkerzen, des Phosphors, der Soda, der schwefelsauren Salze, des Wasserstoffs und Chlors, zur Reinigung der Oele angewandt. Wie sie zu verdünnen sei, ist §. 238 angegeben.

2) **Die Salpetersäure** wird hergestellt, indem man Salpeter (salpetersaures Kali) mit Schwefelsäure übergießt, welche die Salpetersäure verdrängt und sich mit dem Kali verbindet. Der Vorgang ist folgender:

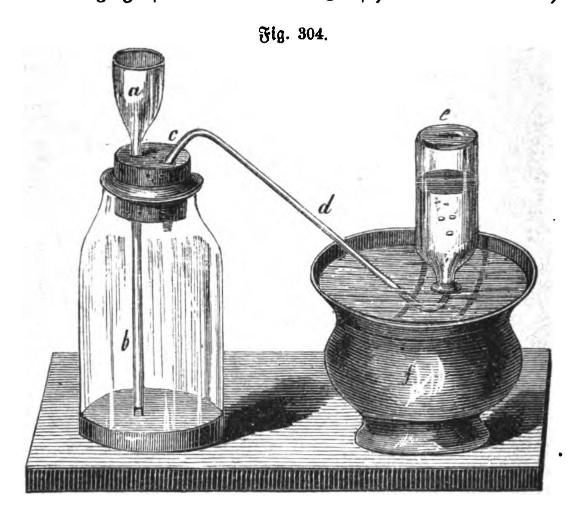


Die Salpetersäure hat ein gelbliches Aussehen; sie zersetzt die organischen Stoffe und färbt dabei manche, wie Wolle und die Haut des menschlichen Körpers, gelb. Die Metalle löst sie auf, mit Ausnahme von Gold und Platin, und wird deshalb gebraucht, um das Gold aus seiner Mischung mit anderen Metallen auszuscheiden. Darum wird verdünnte Salpetersäure Scheidewasser genannt. Um den Goldgehalt einer Metallmischung zu schätzen, nehmen die Goldarbeiter die Goldprobe vor; sie machen mit dem zu untersuchenden Goldstück einen Strich auf einen Probirstein, einen schwarzen Kiesel- oder Basaltstein, und bringen auf den Strich einen Tropfen Scheidewasser; ist das Gold rein, so verschwindet nichts von dem Striche; ist es versetzt, so wird der Zusatz aufgelöst.

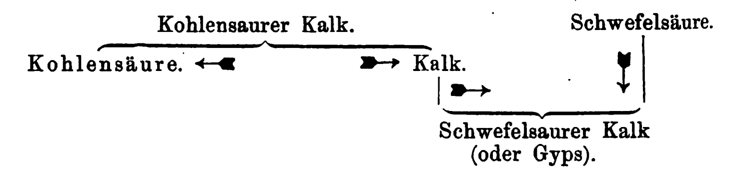
3) **Die Kohlensäure,** die beim Verbrennen der Kohle entsteht un
in luftförmiger Gestalt erscheint, macht einen Hauptbestandtheil der Kal
steine aus; Kalkspath, Marmor, Kreide sind kohlensaurer Kalk, aus de
man leicht Kohlensäure entwickeln kann.

Versuch a. Für eine Flasche wähle man einen gut anschließende
Kork, durchbohre ihn und füge in die Bohrung die bei der Entwickelun
von Sauerstoff angewandte gebogene Gasleitungsröhre. Nach dieser Vo
bereitung gießt man in die Flasche verdünnte Schwefelsäure, die man au
1 Gewichtstheil concen
trirter Säure un
4 Gewichtstheilen
Wasser darstellt, thu
mehrere Stückchen
Kreide hinein und se
den Kork auf die Flasche.
Das eine Ende de
Gasleitungsröhre wird
in eine mit Wasser ge
füllte Schüssel getaucht,
und beim Auffangen
des unter Aufbrausen
sich entwickelnden Gase
ganz so, wie beim Au
fangen des Sauerstoffs
verfahren. Bequem i
die Benutzung eine
kleinen Glastrichters mit langem, gläsernem Rohr; dasselbe wird, luftdicht
anschließend, durch den Kork der Gasentwicklungsflasche bis auf den Boden
derselben hinabgeschoben und dient zum Eingießen von Schwefelsäure.
Für die nächsten Versuche füllt man mehrere Gläschen mit Kohlensäure.

Fig. 304.



Die Entwickelung derselben wird dadurch bewirkt, daß die Schwefel-
säure die sehr schwache Kohlensäure aus ihrer Verbindung mit dem Kalk
verdrängt und sich selbst mit ihm verbindet, wie es das folgende Schema
veranschaulicht:



Versuch b. Absorption luftförmiger Körper durch flüssige.
Ein mit frischem Wasser gefüllter Probircylinder wird über der Oeffnung
der Gasleitungsröhre in die Schüssel gehalten; die Kohlensäure steigt darin
empor und füllt etwas über die Hälfte, während die andere Hälfte Wasser
enthält. Die Oeffnung des Cylinders wird mit dem Finger verschlossen

und der Cylinder geschüttelt. Bald fühlt man, daß die atmosphärische Luft den Finger gegen den Cylinder drückt; es muß also darin ein luftverdünnter Raum entstanden sein; dieser ist dadurch gebildet, daß das Wasser Kohlensäure aufgenommen oder absorbirt hat (§. 248); ähnlich wie luftförmige Körper sich an feste hängen, haben die Theilchen der Kohlensäure eine starke Adhäsion an die Wassertheilchen. Das Wasser hat einen schwach säuerlichen Geschmack erlangt und röthet Lackmuspapier; größere Mengen Kohlensäure, die im Wasser enthalten sind, verleihen demselben die Eigenschaft zu schäumen oder zu moussiren. Daher bereitet man künstliche *Sauerwasser*, indem man Kohlensäure in Wasser hineinpreßt; zu den natürlichen Sauerbrunnen, die Kohlensäure enthalten, gehört unter andern das Selterser Wasser. Auch *Bier* und *Champagner* schäumen darum, weil sie Kohlensäure enthalten, die sich bei ihrer Gährung entwickelt; der Champagner verdankt seinen großen Reichthum an Kohlensäure dem Umstande, daß die Weinstöcke auf Kreideboden wachsen.

Versuch c. In ein mit Kohlensäure gefülltes Glas taucht man einen angezündeten Holzspan oder ein kleines brennendes Licht, das man mittels eines zweimal umgebogenen Drahtes hält. Das *Erlöschen der Flamme* zeigt, daß die Kohlensäure nicht im Stande ist, die Flamme zu unterhalten. Ebenso wenig ist sie zum *Athmen* tauglich, und Thiere sterben in Kohlensäure.

Fig. 305.



Versuch d. Auf den Boden eines weiteren Glases stelle man mittels des umgebogenen Drahtes ein kurzes angezündetes Wachslichtchen; es wird darin fortbrennen, weil es hinreichend weit ist, und längs der inneren Wände frische Luft zur Flamme gelangt. Schräg über das Glas halte man ein zweites, etwa halb so großes, das mit Kohlensäure gefüllt ist. Die Kohlensäure wird in das untere Glas hinabsinken, sich auf dem Boden desselben ausbreiten und, wie eingegossenes Wasser, nach und nach den unteren Theil erfüllen, bis sie die Flamme erreicht und auslöscht. Die Kohlensäure ist also *schwerer, als die atmosphärische Luft*.

Versuch e. *Gegenseitige Durchdringung luftförmiger Körper.* Ein mit Kohlensäure gefülltes Glas werde aufrecht und offen an einen dem Luftzug nicht ausgesetzten Ort gestellt. Da die Kohlensäure schwerer, als die atmosphärische Luft ist, so erwartet man, daß weder die leichtere Luft sich abwärts in die Kohlensäure bewegen, noch die schwere Kohlensäure aus dem Gefäß emporsteigen werde; steigt doch auch Wasser, auf welches man Oel gegossen hat, nicht in dasselbe empor, sondern das leichte Oel bildet fortwährend die obere Schicht. Untersucht man aber das ursprünglich mit Kohlensäure gefüllte Glas nach etlichen Stunden, indem man das an den Draht gesteckte Licht brennend hineinhält, so wird es nicht erlöschen. Die schwerere Kohlensäure konnte sich aber nicht anders aus dem Glase entfernen, als indem sie emporstieg.

Fig. 306.

Versuch f. Man nimmt zwei Gläser, deren Oeffnungen gleich groß sind, und bestreicht ihre Ränder rings um die Oeffnungen mit Talg. Das eine Glas füllt man mit Kohlensäure, stellt es aufrecht auf den Tisch und drückt das zweite, leere Glas umgekehrt mit seiner Oeffnung auf die Oeffnung des ersten. Das untere Glas enthält die schwerere Kohlensäure, das obere die leichtere atmosphärische Luft. Untersucht man nach einiger Zeit beide Gläser dadurch, daß man Kalkwasser eingießt und schüttelt, so wird die eintretende Trübung anzeigen, daß in beiden Kohlensäure sich befindet. Dieselbe hat sich also auch nach oben hin ausgebreitet; es hat eine Durchdringung oder Diffusion beider Gase stattgefunden.

Jeder luftförmige Körper findet zwischen den Theilchen eines anderen luftförmigen Körpers unzählige Zwischenräume, durch die er sich hindurchdrängen kann. Durch seine Spannkraft (§. 101) wird er aber getrieben, sich so weit als möglich auszubreiten, und dehnt sich wegen der Zwischenräume des anderen Gases mit derselben Spannkraft aus, als ob dies gar nicht da wäre. Seine Verbreitung geschieht mit gleicher Spannkraft durch das andere Glas hindurch, wie durch einen luftleeren Raum, nur etwas langsamer. Jeder luftförmige Körper bildet also eine eigene Atmosphäre für sich. Ist in einem Zimmer kein Sauerstoff, so ist es für denselben gleichsam luftleer, und er dringt in dasselbe hinein, weshalb wir überall die atmosphärische Luft in demselben Verhältniß aus Sauerstoff und Stickstoff gemengt finden. Mit großer Genauigkeit angestellte Versuche haben zu dem nach seinem Entdecker benannten Dalton'schen Gesetze geführt:

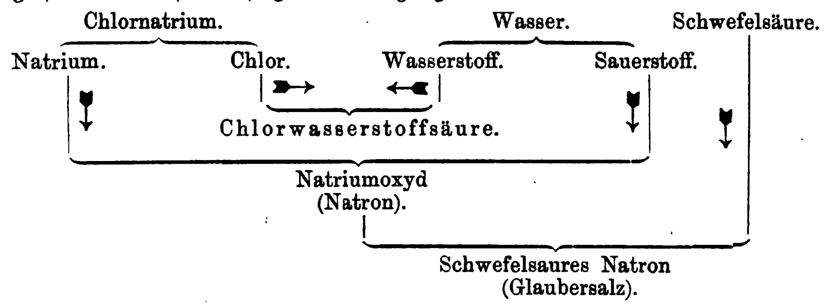
Jeder luftförmige Körper verbreitet sich innerhalb eines anderen mit derselben Spannkraft, wie im luftleeren Raume. Eine Ausnahme davon tritt ein, sobald die luftförmigen Körper eine chemische Verbindung eingehen. Und eine Folgerung daraus ist, daß wir statt einer Atmosphäre, welche die Erdkugel umgiebt, wenigstens drei unterscheiden müssen, eine Sauerstoffatmosphäre, eine Stickstoffatmosphäre und eine Wasserdampfatmosphäre, zu denen als vierte eine sehr verdünnte Kohlensäureatmosphäre hinzukommt. Keine derselben kehrt sich bei ihrer Ausbreitung an die anderen und verliert, indem sie zwischen den Theilen der anderen hindurchdringt, nur etwas von der Schnelligkeit der Bewegung.

Kohlensäure bildet sich bei der Verbrennung unserer Heizmaterialien und bei jeder Verwesung oder Fäulniß, bei der Gährung und beim Athmen der Menschen und Thiere. Außerdem dringt sie an manchen Orten aus Erdspalten hervor; in manchen Grotten und Thalkesseln, wie in der kleinen Hundsgrotte bei Neapel und in der Dunsthöhle bei Pyrmont, findet fortwährend eine starke Entwickelung von Kohlensäure Statt; das schwere Gas, das sich erst allmählich in die Luft ausbreitet, bedeckt dort den Boden ein M. hoch. Thiere, welche in diese Räume gebracht werden, müssen ersticken, wenn nicht ihr Kopf über die Grenze der Kohlensäureschicht hervorragt. Ihren Ursprung verdankt die aus der Erdrinde hervordringende Kohlensäure entweder den zahlreichen Lagern verwesender Pflanzenüberreste, oder den tief hinabreichenden Kalkstein-

gebirgen, da der Kalk in der Hitze die Kohlensäure frei läßt, wenn er Kieselerde oder einen anderen Körper vorfindet, mit dem er sich verbinden kann.

4) **Die Salzsäure** oder Chlorwasserstoffsäure. Die meisten Säuren entstehen durch Verbindung von Sauerstoff mit einem Nichtmetalle und heißen, wie die Schwefelsäure, Salpetersäure und Kohlensäure, Sauerstoffsäuren. Aber auch der Wasserstoff bildet durch Verbindung mit Nichtmetallen einige Säuren; zu diesen Wasserstoffsäuren gehört die Salzsäure.

Bereitet wird die Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure, indem man Kochsalz (Chlornatrium) mit wenig Wasser enthaltender Schwefelsäure übergießt. Dann findet folgender Vorgang Statt:



Das mit der Schwefelsäure vermischte Wasser wird zersetzt; sein Wasserstoff verbindet sich mit dem Chlor zu Chlorwasserstoff- oder Salzsäure. Sein Sauerstoff verbindet sich mit dem Natrium und bildet mit ihm Natriumoxyd oder Natron, welches sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Natron oder Glaubersalz vereinigt.

Die Salzsäure greift Gold und Platin ebenso wenig an, als andere Säuren. Beide Metalle lösen sich nur in einer Mischung von 2 Gewichtstheilen Salzsäure und einem Theil Salpetersäure auf. Diese Mischung heißt Salpetersalzsäure oder, weil sie das Gold, den König der Metalle, auflöst, Königswasser.

§. 263. II. Die Basen.

Während die Verbindungen des Sauerstoffs mit einem Metalloid Säuren sind und blaues Lackmuspapier roth färben, werden die Verbindungen des Sauerstoffs mit einem Metalle Basen oder, wenn sie im Wasser löslich sind, Alkalien genannt und haben Eigenschaften, welche denen der Säuren entgegengesetzt sind.

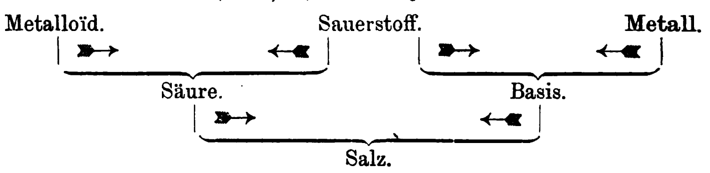
Versuch. Gebrannter Kalk ist eine Verbindung von Sauerstoff mit Calciummetall und bildet daher eine Basis. Man nehme einen Streifen von blauem Lackmuspapier, der bei irgend einem der früheren Versuche roth gefärbt ist, oder man ziehe ihn durch sehr verdünnte Schwefelsäure. Auf das rothe Papier lege man, nachdem man es angefeuchtet hat, ein Stück

gebrannten Kalks oder tauche den Streifen in Kalkwasser. Das Papier wird seine blaue Farbe wieder erhalten.

Die Basen geben also dem durch die Säuren gerötheten Lackmus seine blaue Farbe wieder. Wenn sie im Wasser sich auflösen, so schmecken sie laugenhaft (alkalisch).

§. 264. III. Die Salze.

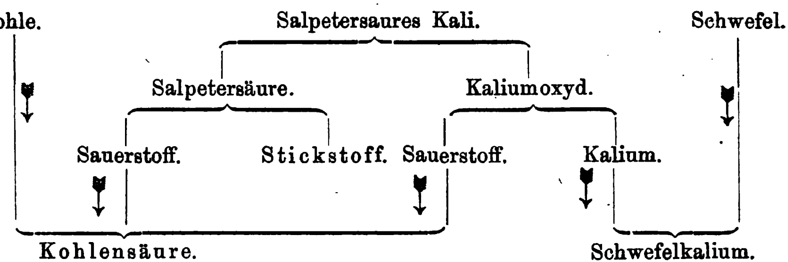
Wie sich die Kohlensäure mit dem im Kalkwasser enthaltenen Kalk zu kohlensaurem Kalk (Kreide) verbindet, so verbinden sich überhaupt die Säuren mit den Basen. Weil aber die Wirkungen der Säuren denen der Basen entgegengesetzt sind, heben sie, wenn sie sich verbinden, gegenseitig ihre Eigenschaften auf, so daß der entstehende Körper weder sauer, noch laugenhaft, sondern häufig salzig schmeckt. Die Verbindungen der Säuren mit den Basen heißen Salze.



Der kohlensaure Kalk ist ein Salz, das sich im Wasser nicht auflöst; das bei der Entwickelung des Wasserstoffs (§. 234) entstandene schwefelsaure Zinkoxyd ist ein giftiges Salz, das leicht vom Wasser aufgelöst wird. Unter den salpetersauren Salzen sind sehr bekannt der Höllenstein (salpetersaures Silberoxyd), der als Beizmittel gegen Warzen angewandt wird und die Haut schwarz färbt, und der Salpeter (salpetersaures Kali), der bei der Bereitung des Schießpulvers eine wichtige Anwendung findet und in den Salpeterhöhlen Ostindiens, in Amerika, Portugal, Spanien, Italien und Ungarn von der Natur völlig zubereitet angetroffen wird.

Das Schießpulver ist schon in früher Zeit den Chinesen bekannt gewesen. In Deutschland wurde es, schon ehe Berthold Schwarz es erfunden haben soll, im zwölften Jahrhundert von den Bergleuten im Rammelsberge bei Goslar zum Sprengen der Gesteine benutzt. Und Pfalzgraf Heinrich, der Sohn Heinrichs des Löwen, ließ während der Kämpfe mit den Ungläubigen im Jahre 1200 die Mauern eines festen Schlosses bei Tyrus durch Schießpulver sprengen. Die zur Bereitung des Schießpulvers dienenden Materialien müssen von der größten Reinheit sein; außer Salpeter wird Stangenschwefel und Kohle von leichtem Holz, von der Pappel, vom Faulbaum oder der Linde genommen. Man rechnet ungefähr auf 6 Theile Salpeter einen Theil Schwefel und einen Theil Kohle und bereitet das Pulver durch Vermengung dieser Stoffe. Sie werden in Mörsern unter mehrmaligem Begießen mit Wasser zusammen gestampft, der angefeuchtete Teig gepreßt, durch das Körnersieb gesiebt und im Freien oder durch erwärmte Luft getrocknet. Beim

Verbrennen des Pulvers wird der Salpeter (das salpetersaure Kali) zersetzt, er besteht aus Salpetersäure und Kali (Kaliumoxyd), die Salpetersäure aber ist eine Verbindung von Stickstoff und Sauerstoff. Der Sauerstoff der Salpetersäure und des Kali verbindet sich mit der Kohle zu der luftförmigen Kohlensäure, und der Stickstoff der Salpetersäure wird, vom Sauerstoff verlassen, ebenfalls luftförmig; das Kalium verbindet sich mit dem Schwefel zu Schwefelkalium, bleibt im Lauf des Schießgewehrs zurück und färbt ihn schwarz.



Der Schwefel bewirkt eine leichtere Entzündlichkeit des Gemenges und eine stärkere Gasentwickelung, indem er den Sauerstoff des Kaliumoxyds frei macht und sich selbst mit dem Kalium vereint. Die durch den chemischen Vorgang bei der Verbrennung des Pulvers entwickelten Gase, Kohlensäure und Stickstoff, würden schon bei dem Wärmegrad des schmelzenden Eises einen 450 Mal so großen Raum einzunehmen streben, als das Pulver selbst; durch die Erhitzung wird ihre Spannkraft so gesteigert, daß sie in einen mehrere Tausend Mal so großen Raum sich ausbreiten, eine Explosion verursachen und die Kugel des Schießgewehrs mit großer Gewalt fortschleudern. Bis jetzt ist das Schießpulver durch nichts anderes zu ersetzen, weil die übrigen explodirenden Stoffe entweder sich zu schnell in Gase verwandeln und das Geschütz zertrümmern oder, wie die durch Eintauchen in eine Mischung concentrirter Schwefelsäure und Salpetersäure hergestellte und nachher sorgfältig ausgewaschene und getrocknete Schießbaumwolle, (das Pyroxylin) den Lauf der Geschütze zu stark angreifen und zerstören. Zum Sprengen von Felsen wendet man häufig das Nitroglycerin an, eine Verbindung von Glycerin mit Stickstoff; wenn man Glycerin, eine farblose, syrupdicke Flüssigkeit, die sich in allen Fetten findet, zu einer Mischung von Schwefelsäure und Salpetersäure zusetzt und nachher die Flüssigkeit mit Wasser vermischt, so scheidet sich ein ölartiger Körper, das Nitroglycerin, aus; dasselbe zersetzt sich bei einem Schlag mit dem Hammer und beim Erhitzen und explodirt heftig.

Organische Verbindungen.

§. 265. Eintheilung der organischen Verbindungen.

Die zusammengesetzten Stoffe, aus denen die Körper der Pflanzen und Thiere bestehen, theilt man in Säuren, Basen und indifferente Stoffe. Zu den organischen Säuren gehören unter anderen Essigsäure, Citronensäure und Gerbsäure; zu den organischen Basen ist das Chinin zu rechnen, das aus der Chinarinde, und das Morphin, das aus Opium dargestellt wird. Die indifferenten Stoffe haben, ähnlich den Salzen, weder die Eigenschaften der Säuren, noch die der Basen; zu ihnen gehört bei Weitem die Mehrzahl der Pflanzen- und Thierstoffe, wie Stärke, Zucker und Weingeist. Während menschliche Kunst es nicht vermag, die organischen Verbindungen aus den Elementen zusammenzusetzen, ist sie im Stande, aus einer gegebenen organischen Verbindung eine andere zu bilden. Merkwürdige Vorgänge, die beim Brauen, Branntweinbrennen und der Essigfabrikation benutzt werden, verwandeln Stärke in Zucker, Zucker in Weingeist und Weingeist in Essig.

§. 266. Die Stärke.

Versuch. Einige reingewaschene Kartoffeln werden auf einem Reibeisen zerrieben, mit etwas Wasser benetzt und durch ein Stückchen Leinwand gedrückt. Ein großer Theil der in den Kartoffeln enthaltenen Stärkekörnchen läuft mit der Flüssigkeit hindurch. Die trübe Flüssigkeit bleibt eine Stunde lang ruhig stehen, die Stärke sinkt zu Boden, und das darüber stehende Wasser wird abgegossen. Durch mehrmaliges Aufgießen von frischem Wasser und Wiederabgießen desselben wird die Stärke gereinigt, auf einem Tuche ausgebreitet und getrocknet.

Die Stärke oder das Stärkemehl besteht aus glänzend weißen, zwischen den Fingern knirschenden Körnchen, deren Gestalt und Größe in den verschiedenen Pflanzen sehr verschieden ist. Sie findet sich besonders in Kartoffeln, Getreide, Hülsenfrüchten und dem Mark der Sagopalme und ist die gebräuchlichste Speise, die wir in Gestalt von Brot genießen.

§. 267. Die Umbildung der Stärke in Zucker.

Versuch a. In einem kleinen Topfe bringt man etwas Wasser zum Sieden und gießt in dasselbe ein paar Tropfen concentrirter Schwefelsäure. Nach und nach wird mit kaltem Wasser eingerührte Stärke unter stetem Umrühren der kochenden Flüssigkeit hinzugesetzt. Die Mischung läßt man noch einige Minuten kochen und schüttet dann geschabte Kreide hinein. Diese reißt die Schwefelsäure an sich und vereinigt sich mit ihr zu schwefelsaurem Kalk oder Gyps, die Flüssigkeit wird heller, ist durch ein

Stück Zeug zu gießen und einzukochen. Es entsteht eine dicke Masse, die sehr süß schmeckt und Stärkesyrup genannt wird. Durch Entfärben desselben mittels Thierkohle und weiteres Abdampfen gewinnt man den Stärkezucker oder Krümelzucker. Bei diesem Verfahren ist die Stärke durch Berührung mit der Schwefelsäure in Zucker umgebildet worden.

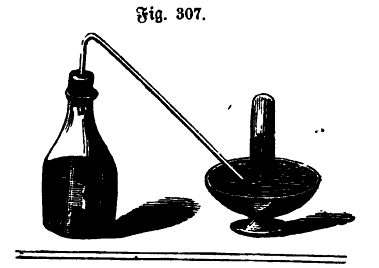
Versuch b. Eine geringe Menge Gerstenmalz, das zerstoßen ist, werde mit der achtfachen Gewichtsmenge lauwarmen Wassers übergossen und bleibe in der Nähe eines geheizten Ofens oder an einem den Sonnenstrahlen ausgesetzten Platze stehen. — Das Gerstenmalz wird hergestellt, indem man die Gerste in Wasser quellen und nachher auf einem mit steinernen Platten belegten Fußboden zwölf bis zwanzig Stunden liegen läßt; die Keime brechen hervor, und ihr ferneres Wachsen wird durch Trocknen oder Darren unterbrochen, das an der Luft oder durch größere Wärme geschehen kann. — Nach Verlauf mehrerer Stunden werde das Gemisch durch Leinwand gegossen; die durchlaufende Flüssigkeit, der Malzauszug, enthält einen Stoff, Diastase genannt, welcher sich beim Keimen der Gerste gebildet hat und dieselben Dienste thut, wie die in dem vorhergehenden Versuch angewandte Schwefelsäure. Man gieße den Malzauszug nach und nach unter anhaltendem Umrühren unter heißen Stärkekleister und lasse ihn mit demselben einige Stunden auf dem heißen Ofen stehen. Dann wird man schon an dem süßen Geschmack erkennen, daß die Masse durch die Diastase in Zucker umgewandelt worden ist.

Von der größten Wichtigkeit ist diese Wirkung der Diastase für Brauer und Branntweinbrenner; denn wenn aus Kartoffeln oder Getreide Bier oder Branntwein gewonnen werden soll, so muß stets zuerst die in jenen enthaltene Stärke in Zucker umgebildet werden, ehe die Gährung erfolgen kann.

§. 268. Die geistige Gährung.

Versuch. Fünfzehn Gr. Stärkesyrup oder Honig werden in der achtfachen Gewichtsmenge Wasser gelöst, etwas Bierhefe (Oberhefe) darunter gemengt, und die Mischung in einer Flasche an einem mäßig warmen Ofen sich selbst überlassen. Nach einiger Zeit geräth die Flüssigkeit in Bewegung, und Gasblasen steigen empor. Setzt man auf die Flasche einen Kork mit einer Gasleitungsröhre, so kann man das sich entwickelnde Gas, wie in §. 262 a, über einer Schüssel mit Wasser auffangen. In das Gläschen, in welchem es aufgefangen worden ist, werde etwas Kalkwasser gegossen; es wird sich sogleich trüben und dadurch nach §. 233 b darthun, daß das sich entwickelnde Gas Kohlensäure ist. Hat die Gasentwicklung schon früh aufgehört, so setzt man von Neuem Hefe zu. Endlich wird die

Fig. 307.



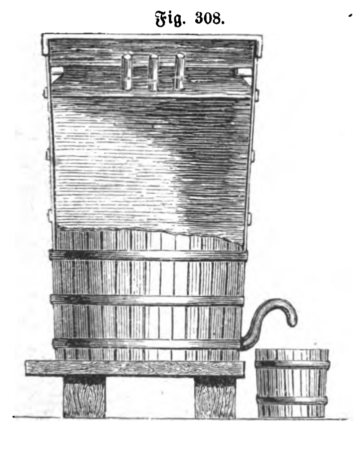
Flüssigkeit nicht mehr süß, sondern nach Branntwein oder Weingeist schmecken. Bei der Gährung zerfällt der Zucker in Kohlensäure und Weingeist, der auch Spiritus oder Alkohol genannt wird. Nur der Stärkezucker kann eine geistige Gährung erleiden.

Weinbereitung, Bierbrauerei, Branntweinbrennerei und Bäckerei sind vier Gewerbe, die auf der geistigen Gährung beruhen. Bei der Branntweinbrennerei sucht man die ganze Menge des vorhandenen Stärkezuckers in Weingeist und Kohlensäure zu zersetzen, bei der Weinbereitung und Bierbrauerei nur den größten Theil; beim Backen wird nur ein kleiner Theil des Zuckers in Gährung versetzt, und es kommt dabei nicht auf den sich bildenden Weingeist, sondern auf die Entwickelung von Kohlensäure an, die bei ihrem Entweichen den Teig locker macht.

§. 269. Die Essigbildung.

Versuch. Eine Mischung von 8 Raumtheilen Flußwasser oder Regenwasser und einem Theil starken Branntweins werde in einem Trinkglase, in welches man eine mit Essig getränkte Brotscheibe gelegt hat, bei mäßiger Wärme aufbewahrt. Das Trinkglas sei mit einem durchlöcherten Stück Papier überbunden, durch welches die Luft ins Glas treten kann. Nach Verlauf von mehreren Wochen ist die weingeisthaltige Flüssigkeit in Essig umgewandelt. In einem festverschlossenen Gefäße bildet sich kein Essig, weil der Sauerstoff der Luft dazu mitwirken muß. Wie ein leicht zersetzbarer Stoff den Zucker, unter den er gemischt ist, gleichsam ansteckt und den Anstoß zu seiner Zersetzung giebt, so regt der saure Essig, der unter eine weingeisthaltige Flüssigkeit gemischt ist, indem er selbst aus der Atmosphäre Sauerstoff aufnimmt, die ganze Flüssigkeit an, Sauerstoff aufzunehmen. Die Essigbildung besteht in einer Verbindung des Weingeistes mit dem Sauerstoff der Luft.

Fig. 308.



Man kann daher weit schneller Essig bereiten, wenn man verdünnten Branntwein in vielfache Berührung mit der Luft und ihrem Sauerstoff bringt. Für die Schnellessigfabrikation wird ein fast 2 M. hohes Faß mit Hobelspänen aus Buchenholz angefüllt, die zuvor mit starkem Essig getränkt sind; nahe der oberen Oeffnung liegt in dem Fasse ein siebartig durchlöcherter Boden und durch jede Bohrung desselben ist ein Bindfaden gezogen, der oben einen Knoten hat. Die oben eingegossene weingeisthaltige Flüssigkeit tröpfelt durch den Siebboden an den Bindfäden ab

die Hobelspäne und breitet sich hier zu einer dünnen Flüssigkeitsschicht aus, die der Luft eine große Berührungsfläche darbietet. Etwas über dem untersten Boden des Fasses sind offene Glasröhren eingesetzt; immer dringt frische Luft durch dieselben, giebt ihren Sauerstoff an die Flüssigkeit ab und steigt durch die Oeffnungen des Siebbodens empor. Die ganz unten ablaufende Flüssigkeit wird noch einmal durchgegossen und ist innerhalb weniger Stunden in Essig verwandelt.

§. 270. Unterhaltung des thierischen Lebens.

Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenstoff sind die vier Grundpfeiler der organischen Schöpfung; Pflanzen und Thiere sind wesentlich aus ihnen zusammengesetzt und bedürfen ihrer nothwendig zur Erhaltung ihres Lebens. Bei jedem Athemzuge nehmen wir aus der Atmosphäre ein Gemenge von Stickstoff, Wasserdampf und Sauerstoff auf; beim Ausathmen hauchen wir dieselbe Menge Stickstoff, eine größere Menge Wasserdampf und eine Sauerstoff enthaltende Verbindung aus. Der reichlich ausgeathmete Wasserdampf wird uns im Winter in Nebelform sichtbar; welche Veränderung erleidet aber der eingeathmete Sauerstoff?

Versuch. Nimmt man eine Glasröhre in den Mund, deren unteres Ende in klares Kalkwasser taucht, und athmet längere Zeit in dasselbe aus, so trübt es sich und thut dar, daß wir statt des eingeathmeten Sauerstoffs Kohlensäure ausathmen.

Der Sauerstoff der Luft kommt in den Lungen mit dem Blute in Berührung, das von dem Herzen aus durch alle Theile des Körpers geströmt ist und eine dunkle Farbe angenommen hat. Während der Berührung mit der Luft erhält es wieder seine hellrothe Farbe; ein Theil seines Kohlenstoffs und Wasserstoffs verbindet sich mit dem eingeathmeten Sauerstoff und bildet Kohlensäure und Wasserdampf, oder, was dasselbe ist, ein Theil seines Kohlenstoffs und Wasserstoffs wird verbrannt und entwickelt dabei die dem Körper nöthige Wärme. Eine natürliche Folge dieses Vorganges ist, daß wir dem Körper wieder wasserstoff- und kohlenstoffreiche Lebensmittel zuführen müssen, damit das Athmen unterhalten, und dadurch dem Blute die erforderliche Wärme gegeben werde.

Dagegen bedarf der thierische Körper, dessen Bestandtheile sämmtlich Stickstoff enthalten, auch solcher Nahrungsmittel, durch die er selbst immer wieder von Neuem gebildet und erhalten wird. Zur Bildung des stickstoffreichen Körpers können nur stickstoffreiche Nahrungsmittel dienen. Dazu gehören besonders das Fleisch der Thiere, Erbsen und Bohnen als die nahrhaftesten Speisen. Beide Ernährungsbedingungen sind im Getreide und am günstigsten in der Milch vereinigt.

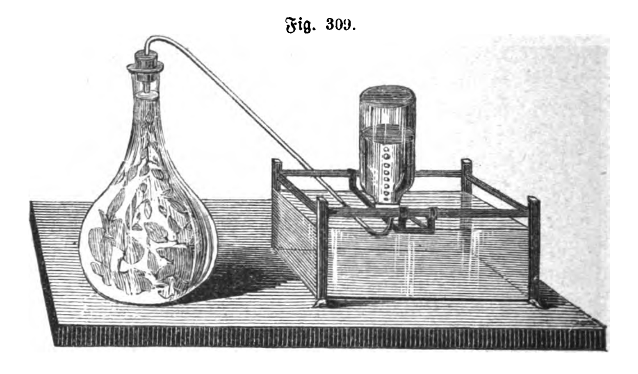
Einerseits wird durch das Athmen der Thiere der atmosphärischen Luft ein Theil ihres Sauerstoffs geraubt, und doch findet man überall (§. 244), daß sie stets dieselbe Sauerstoffmenge behält; es muß also durch irgend einen Vorgang dafür gesorgt sein, daß ihr der entzogene Sauerstoff wieder zurückgegeben wird. Zweitens ist das Thier durchaus unfähig,

unmittelbar aus den Elementen die zusammengesetzten Stoffe zu bilden, die seinen Körper ausmachen, und es würde verschmachten, wenn es nicht andere organische Wesen gäbe, die aus den Elementen die Stoffe zusammensetzen, aus denen der Thierkörper besteht. Beides sind Aufgaben, welche durch das Leben der Pflanzen ihre Lösung finden.

§. 271. Unterhaltung des Pflanzenlebens.

Versuch. Eine gläserne Flasche wird mit grünen Blättern und grünen Pflanzentheilen ohne Blüthen gefüllt. Darauf gießt man frisches Wasser in die Flasche, korkt sie zu und schiebt durch ihren Kork eine Gasleitungsröhre, über die in der pneumatischen Wanne ein Glas mit Wasser gestellt wird. Setzt man die Vorrichtung der Einwirkung des Sonnenlichts aus, so werden sich an den Blättern bald Gasblasen entwickeln und in den oberen Theil des Glases emporsteigen; wenn sich eine ziemliche Menge Gas entwickelt hat, kehrt man das Glas um und hält schnell einen glimmenden Holzspan hinein. Derselbe entzündet sich mit heller Flamme,

Fig. 309.



woraus zu schließen ist, daß das Gas nichts Anderes, als Sauerstoff ist. Die Beschaffenheit des Wassers ist bei diesem Versuch nicht gleichgültig; ausgekochtes und dadurch der Kohlensäure beraubtes Wasser liefert äußerst wenig, Selterserwasser, das viel Kohlensäure enthält, desto mehr Gas, ein Beweis dafür, daß die grünen Pflanzentheile Kohlensäure aufnehmen, die Kohle sich aneignen und den Sauerstoff im Sonnenlichte wieder ausathmen. Die Pflanzen nehmen aus der Atmosphäre Kohlensäure auf und athmen Sauerstoff aus; sie nehmen die von der Thierwelt ausgeathmete Kohlensäure auf und geben der Atmosphäre ihren Sauerstoff zurück.

Während die Verschiedenheit der Pflanzen ihren Grund in den mineralischen Bestandtheilen, Pottasche und Soda, Kalk, Kieselerde und Knochenerde, hat, die von ihnen aus dem Boden aufgenommen werden und sich in der Asche wiederfinden, haben sie in der Kohlensäure, dem Ammoniak, einer Stickstoff- und Wasserstoffverbindung, die sich beim Verwesen von Thier- und Pflanzenstoffen bildet, und dem Wasser die

selben allgemeinen Nahrungsmittel, die von dem großen Luftmeer ihnen stets in genügender Menge geliefert werden.

Sonach findet fortwährend zwischen dem Pflanzenreich und dem Thierreich folgender Austausch der Stoffe statt. Beim Athmen und beim Verwesen entstehen aus den Thierstoffen, indem der Sauerstoff der Atmosphäre vermindert wird, Kohlensäure, Wasser und Ammoniak, welche sich in der Luft verbreiten. Diese Stoffe sammelt die Pflanze und setzt aus ihnen unter beständiger Vermehrung des atmosphärischen Sauerstoffs zweierlei Speisen zusammen, die eine Art reich an Kohlenstoff und Wasserstoff, die andere Art reich an Stickstoff. Das Thier nimmt die erste Art und verbrennt sie beim Athmen zur Erhaltung der nöthigen Wärme; aus der zweiten Art baut es seinen Körper. Aus der Luft sammelt die Pflanze die Stoffe, die verbrannt wieder zurückkehren; das thierische Leben aber ist ein langsamer Verbrennungsproceß, dessen letzten Abschluß wir Verwesung nennen.

Dritte Abtheilung.

Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme.

Der Schall.

Der einfache Schall.

§. 272. Die Entstehung des Schalles.

Versuche a. Ein kleiner Stab oder ein Bleistift werde lothrecht über der Platte eines Tisches gehalten und sei davon nur durch einen handbreiten Zwischenraum getrennt. Läßt man ihn los, so fällt er hinab, stößt gegen die Tischplatte und steigt wegen seiner Elasticität wieder empor, so daß die Hand ihn auffangen und festhalten kann. Bei seinem Zusammenstoß mit der Platte hat der Stab mitten in seiner auf- und niedergehenden Bewegung unserem Gehör Kunde von derselben gegeben und einen einmaligen Schall erregt.

Man nehme in die eine Hand ein Octavblatt starken Papiers und fasse es an seinem einen Ende so, daß es wagerecht schwebt. Schlägt man auf sein freies Ende von oben her, so bewegt es sich abwärts und kehrt darauf emporsteigend, wegen seiner geringen Elasticität, ungefähr in seine ursprüngliche Lage zurück. Stößt man von oben her schwach gegen das Papier, so kann man die Erschütterung, die es erleidet, durch darauf gestreuten Sand sichtbar machen.

Bei jedem Schritt auf einem gedielten Boden hören wir einen Schall, weil der Fußboden erschüttert wird und sich hinab und hinauf bewegt; bei jedem Schlag des Hammers auf einen Nagel, beim Zuschlagen einer Thür, beim Hinabfallen oder Umfallen eines Gegenstandes tritt dieselbe Erschütterung, dieselbe hin- und hergehende, schwingende Bewegung ein. Durch eine Erschütterung oder Schwingung eines festen Körpers wird daher ein Schall erregt.

Versuch b. In ein mit Wasser gefülltes Trinkglas tauche man ein Stäbchen und lasse den sich anhängenden Tropfen aus einer Höhe von einem M. mitten auf das Wasser im Glase fallen. Beim Zusammenstoßen der beiden flüssigen Körper hört man ebenfalls einen Schall. Der Tropfen wird von dem Wasserspiegel ein wenig emporgeworfen, und die Wasserfläche geräth in auf- und abgehende, schwingende Bewegung.

Versuch c. Man wickle aus Schreibpapier eine fingerlange Röhr-

zusammen und verschließe ihr eines Ende, zwar luftdicht, aber unter gelinder Reibung, mit dem Kork einer Arzneiflasche. Bläst man an dem anderen Ende mit dem Munde hinein, und verdichtet man dadurch die in der Röhre befindliche Luftmasse, so entsteht ein Schall in demselben Augenblicke, in welchem der Kork aus der Röhre geblasen wird. Die verdichtete Luftmasse wird hinausgetrieben, dehnt sich aus und stößt gegen die sie umgebende Luft; aber die Luft in der Röhre ist dadurch zu sehr verdünnt, und ein Theil der verdrängten Luft kehrt in sie zurück. Durch diese eine Luftschwingung, welche durch die Ausdehnung verdichteter Luft verursacht wurde, ist ein einfacher Schall erregt.

Aehnlich entsteht der Schall, wenn man den Umfang eines Rosenblattes zusammenfaltet, die darin enthaltene Luftmenge zusammendrückt und durch einen Schlag auf das Blatt ihr einen Ausweg öffnet, um sich wieder auszudehnen. Jeder starke einfache Schall wird ein Knall genannt. Es knallt eine zerdrückte Fischblase, indem die Luft sich ausdehnend herausdringt; dasselbe geschieht bei einer Knallbüchse, bei einer Bierflasche, von der die herausdringende Kohlensäure den Pfropfen abwirft, und bei der Flinte, aus welcher die sich entwickelnden verdichteten Gase die Ladung schleudern. — Umgekehrt kann auch die Verdünnung der Luft Veranlassung zur Erschütterung und Schwingung luftförmiger Körper werden.

Versuch d. Wenn man um das eine Ende eines Stabes einen Streifen Papier rollt, so daß es gut anschließt, und dadurch eine Röhre bildet, die man an ihrem offenen Ende durch Zusammenkniffen oder Zusammendrücken zwischen den Fingern leicht luftdicht verschließen kann, so enthält die Röhre eine Luftmenge von der gewöhnlichen Dichte der atmosphärischen Luft. Zieht man den Stab schnell heraus, so hört man einen Schall. Es ist ein luftverdünnter Raum in der Röhre entstanden; in denselben ist die sie umgebende Luft hineingestürzt, ist durch ihr Zusammendrängen zu dicht geworden und hat sich zum Theil wieder aus der Röhre entfernen müssen.

Derselbe Hergang tritt ein beim schnellen Oeffnen eines gut schließenden Pennals oder einer Nadelbüchse und bei einem Blatte, das zerreißt, wenn man es gegen die Lippen hält und die Luft im Munde verdünnt. Beim Zerreißen eines schmalen Papierstreifens entsteht plötzlich ein luftleerer Raum, und auch die Stücke des zerrissenen Streifens gerathen in schwingende Bewegung; dasselbe gilt vom Zerbrechen von Holz oder Glas. Beim Knallen einer Peitsche entsteht hinter der plötzlich von ihr verlassenen Stelle ein luftverdünnter Raum, und vor ihr ein Raum mit verdichteter Luft, als Veranlassung zu einer schwingenden Bewegung der Luft.

Somit entsteht der Schall durch eine Erschütterung oder Schwingung irgend eines Körpers.

Die Lehre vom Schall heißt die Akustik.



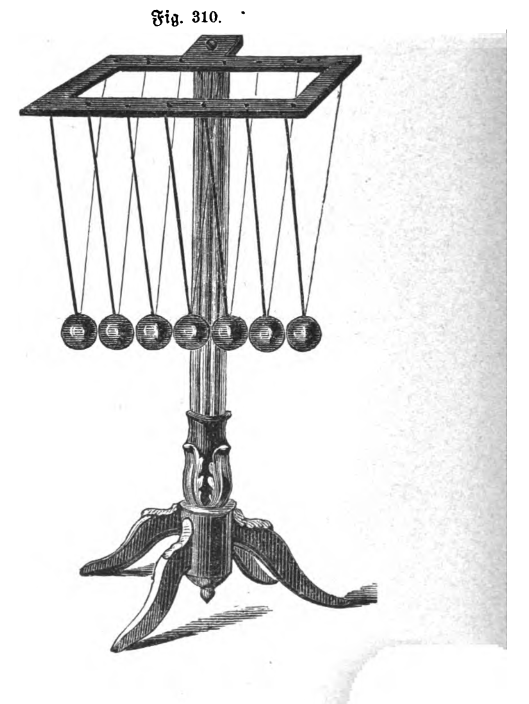
§. 273. Fortschreiten der Schallschwingungen bis zum Gehörorgan.

Damit wir einen Schall vernehmen, ist es nicht hinreichend, daß ein schallender Körper in Bewegung gesetzt sei; es müssen seine Schwingungen auch durch irgend einen Zwischenkörper bis zu unserem Ohr fortgepflanzt werden. Wie eine Schwingung von dem Orte ihres Entstehens fortschreitet, lehrt folgender Versuch.

Versuch a. Eine möglichst lange Schnur oder ein langes, mürbes Seil werde an seinem einen Ende befestigt, an dem anderen mit der Hand wagerecht gehalten und schwach gespannt. Führt man mit der anderen Hand von oben her einen Schlag gegen dies Ende des Seils und versetzt es dadurch in schwingende Bewegung, so sieht man die Schwingung das ganze Seil durchlaufen und bis zu seinem anderen Ende fortschreiten. Gelegentlich kann man diese Erscheinung beobachten, wenn man an einer zum Aufhängen der Wäsche gezogenen Leine eine Stelle, nahe ihrem einen Ende, niederzieht. Liegt das Seil auf ebenem Boden, und man bewegt sein eines Ende taktmäßig hinab und hinauf, so nimmt man ebenfalls fortschreitende Schwingungen wahr, die aber durch den Erdboden etwas gehindert werden.

Auch die Wellenbewegung des *Wassers* (§. 98—100) zeigt uns fortschreitende Schwingungen.

Fig. 310.



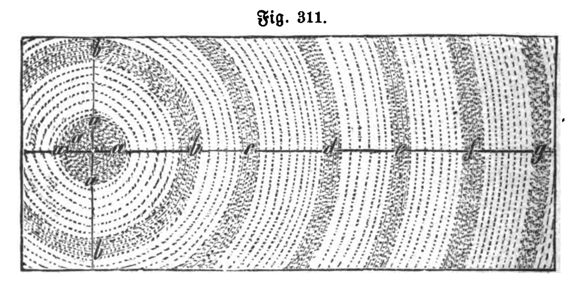
In der *Luft* schreitet, wenn sie einen schallenden Körper berührt, die entstandene Schwingung gleichfalls fort. Wie diese Bewegung stoßweise und wie schnell sie geschieht, davon giebt die sogenannte *Stoß-* oder *Percussionsmaschine* ein Bild.

Versuch b. Die *Percussions-* oder *Stoßmaschine*. An einem Gestell ist eine beliebige Anzahl gleicher *Elfenbeinkugeln* von 2 Cm. oder größerem Durchmesser, eine jede an zwei Fäden, so aufgehängt, daß ihre Mittelpunkte in einer wagerechten Linie liegen, und sie sich berühren, ohne einander zu drücken. Hängen zuerst *zwei* solcher Kugeln neben einander, und bringt man, während ihr Faden gespannt bleibt, die Kugel zur Rechten in eine höhere Lage und überläßt sie dann der Schwerkraft, so stößt sie hinabsinkend auf die ruhende Kugel. Wären sie nicht *elastisch*, so würden beide nach dem

Stoß nach der rechten Seite halb so hoch steigen, als die Höhe beträgt, von der die stoßende Kugel hinabgesunken ist. Da sie aber zusammengedrückt ist und sich nach rechts und links wieder ausdehnt, so hindert sie durch die Gegenwirkung nach rechts ihre eigene Bewegung und bleibt in Ruhe. Dagegen giebt sie, sich ausdehnend, der gestoßenen Kugel noch einen eben so großen Anstoß, so daß diese so hoch steigt, als die stoßende Kugel emporgehoben war. Wird nun von einer ganzen Reihe von Kugeln die letzte zur rechten Seite emporgehoben und sich selbst überlassen, so stößt sie die ihr nächste, diese wird eingedrückt und giebt, sich ausdehnend, den Stoß weiter, und so fort, bis die letzte Kugel zur Linken in die Höhe geht. Hebt man zwei Kugeln zur Rechten empor, so steigen nach dem Stoß zur linken Seite zwei Kugeln in die Höhe; die vorletzte Kugel rechts stößt zuerst und treibt eine Kugel empor, dann folgt die andere und bewirkt, daß noch eine von der Reihe abspringt. Billiger kann man den Versuch anstellen, indem man Kugeln aus festem Holz oder Stein nimmt und die Fäden über ein Lineal schiebt, das über die Lehnen zweier Stühle gelegt wird. Man kann auch mehrere nicht zu kleine Münzen oder Steine von dem Damenbrett auf die Tischplatte legen und nach einiger Uebung ähnliche Resultate erzielen. — Bei diesen Versuchen sieht man den Stoß so schnell weiter fortschreiten und von einem Körper an den andern weiter geben, daß fast keine Zeit verfließt. Wie hier ein Zusammendrücken und Ausdehnen schnell auf einander folgt, so auch bei der Fortleitung des Schalles.

Sowohl beim Schallen fester Körper tritt eine Verdichtung der Luft ein, wie man z. B. beim Zuschlagen eines Buches oder beim Zusammenschlagen der Hände das Hervorströmen der Luft durchs Gefühl wahrnehmen kann, als auch beim Zusammentreffen flüssiger und luftförmiger Körper. Die verdichtete Luftmasse dehnt sich aus, bewegt und verdichtet

Fig. 311.



dadurch die benachbarten Lufttheilchen, diese aber bewegen, indem sie sich ausdehnen, nach und nach wieder die ihnen nächsten Lufttheile und verdichten auch sie; so schreitet die Verdichtung der Lufttheilchen immer weiter fort. Indem aber die ursprünglich verdichtete Luftmasse, die sich stark ausgedehnt hat, sich wieder zusammenzieht, entsteht um diese ein luftverdünnter Raum; das benachbarte Lufttheilchen, das sich vorwärts bewegt hat, kehrt in denselben zurück, bewirkt aber neben sich eine Ver-

...nnung der Luft; in diese kehrt das folgende Lufttheilchen zurück und macht wieder, indem es seine Stelle verläßt, diese zu einer luftverdünnten Stelle; so schreitet daher nach der Verdichtung der Luft eine Verdünnung derselben fort. Wie Wellenberg und Wellenthal, so folgen hier Verdichtung und Verdünnung der Luft; die dadurch verursachte hin- und hergehende Schwingung oder die fortschreitende Schallwelle bewegt sich, wie vom Mittelpunkt einer Kugel aus, nach allen Seiten hin. Alle in einer geraden Linie gelegenen Lufttheilchen bleiben in derselben und bewegen sich nur vorwärts und rückwärts. Die Lufttheilchen in a nähern sich b und gehen dann zurück, b nähert sich c und kehrt wieder um; jedes Theilchen bewegt sich eine Strecke vorwärts und dann rückwärts. So gelangt die Schallwelle endlich in unser Ohr und versetzt die inneren Theile desselben in schwingende Bewegung.

Das Gehörorgan des Menschen hat eine kunstvolle Einrichtung. Das äußere Ohr oder die Ohrmuschel ist so gebaut, daß es die Schallwellen in großer Menge und, da es vielfach gekrümmt ist, auch in den verschiedensten Richtungen aufzufangen vermag. Von dem äußeren Ohr aus führt der Gehörgang a wenig schräg aufwärts in den Kopf hinein und ist an seinem Ende durch das Trommelfell b verschlossen. Hinter diesem befindet sich eine Höhlung, die Trommelhöhle, mit einer Kette von vier zarten Knöchelchen, dem Hammer e, dem Amboß gh, der Linse und dem Steigbügel i, welche das Trommelfell mit dem Labyrinth verbinden. Das Labyrinth ist die innerste Höhle des Ohres und besteht aus mehreren knöchernen Höhlungen; man unterscheidet den Vorhof bei f, drei halbkreisförmige Canäle k und die Schnecke d. Der Vorhof hat bei f eine kleine Oeffnung, das ovale Fenster, das durch eine Membrane verschlossen ist; mit derselben ist der Steigbügel verwachsen. Nicht weit davon hat das Labyrinth eine zweite Oeffnung, das runde Fenster c, das ebenfalls durch eine Membrane bedeckt ist. Das Labyrinth ist mit einer wässerigen Flüssigkeit angefüllt. In dasselbe tritt der Gehörnerv m ein, theilt sich in vier Aeste und verbreitet sich besonders in der Schnecke in den feinsten Verzweigungen. Die Schnecke macht zwei und eine halbe Windung und ist ihrer ganzen Länge nach durch das Spiralblatt in zwei Abtheilungen getheilt; an dem Spiralblatt hängen Tausende von kleinen Platten regelmäßig neben einander, wie die Tasten eines

Fig. 312.



Claviers, und sind an ihrem anderen Ende mit den Fasern des Gehörnervs in Verbindung; diese Platten werden nach ihrem Entdecker das Cortische Organ genannt. Im Vorhof sind die Nervenenden mit feinen elastischen Härchen verbunden; man vermuthet, daß von jenen Plättchen und diesen Haaren jedes auf einen besonderen Ton gestimmt ist und schwingt, wenn dieser ertönt. Die Schallwellen der Luft gelangen durch den Gehörgang zum Trommelfell und setzen es in schwingende Bewegung; diese wird durch die vier Gehörknöchelchen und die Luft dem Labyrinth und durch dessen Flüssigkeit dem Gehörnerven mitgetheilt. Das Trommelfell kann verletzt sein, ohne daß das Gehör verloren wird; ist aber das Labyrinth verletzt, oder ist der Gehörnerv nicht mehr thätig, so tritt völlige Taubheit ein.

§. 274. Leitung des Schalles durch luftförmige, tropfbarflüssige und feste Körper.

Der am meisten verbreitete Körper, in welchem die schallenden Schwingungen von der Stätte ihres Entstehens bis zu unserem Ohre fortschreiten, ist die **atmosphärische Luft.** Sie leitet den Schall desto besser, je dichter sie ist. In der zusammengepreßten Luft einer in die Meerestiefe hinabgelassenen Taucherglocke (§. 103) ist jeder Schall unerträglich stark, und die Taucher sprechen zu einander nur leise; dagegen schallt in der weniger dichten Atmosphäre auf den höchsten Alpengipfeln der Knall einer Pistole kaum stärker, als ein kräftiger Handschlag; wenn man dort verstanden werden will, muß man lauter sprechen, und weil jeder Schall schwächer gehört wird, ist dort alles lautlos und still. Im Winter trägt die geringere Wärme, bei welcher die Luft dichter ist, und der Mangel des Pflanzenwuchses, der im Sommer der Verbreitung der Schwingungen hemmend entgegen wirkt, zur besseren Leitung des Schalles bei; und in den Polargegenden hat man die menschliche Stimme schon in der Entfernung von 1800 M. gehört. Bei Nacht wird ein Schall deutlicher vernommen, nicht bloß an bewohnten Orten, an denen bei Tage zugleich noch ein mannichfach verworrenes Geräusch die Empfindlichkeit des Ohres abstumpft, sondern auch in menschenleeren Einöden, wo bei Tage das Aufsteigen der wärmeren Luft der Verbreitung der Schallwellen hinderlich wird. Der Wind nöthigt die Schallwellen, vorwiegend in einer Richtung fortzuschreiten und sich mit dem Winde in größerer Geschwindigkeit fortzupflanzen. Bei Regen und Schneefall vernimmt man die Glocken einer nahen Ortschaft nicht, obwohl man bei heiterem Wetter das Läuten hört, weil Regentropfen und Schneeflocken die Schallwellen vielfach unterbrechen und stören. In der Luft längs einer Mauer, über einem ruhigen Wasserspiegel oder einer weiten Eisfläche, deren Unebenheiten zu unbedeutend sind, um die Schallwellen zu stören, pflanzen sie sich vollkommener fort; die Leitung ist dann regelmäßig und gleichartiger.

Den Donner hört man nie über 40 Kilometer weit, während man

Kanonendonner beträchtlich weiter vernommen hat, und doch ist ein Donnerschlag in der Nähe eine viel heftigere Erschütterung, als der stärkste Kanonenschlag; beim Gewitter bildet die Luft eine schlechte Leitung für den Schall; vorher warm, kühlt sie sich jetzt streckenweise ab und wird zu einem in sich ungleichartigen Gemenge, das den Schall schlecht fortpflanzt.

Tropfbare Flüssigkeiten leiten den Schall ebenfalls. Fische haben ein Gehörorgan und kommen auf ein mit einer Glocke gegebenes Zeichen in die Nähe des Ufers. Taucher im Wasser haben den Knall einer über dem Wasserspiegel losgeschossenen Pistole in einer Tiefe von etwa 4 M. vernommen. Das Zusammenschlagen von Steinen und das Anschlagen einer Glocke unter Wasser hört man sowohl innerhalb, als außerhalb der Flüssigkeit.

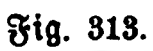
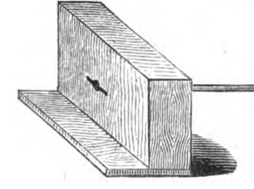
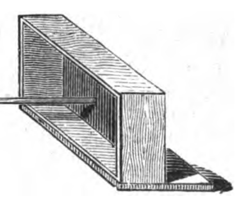
Drittens leiten auch **feste Körper** den Schall weiter.

Versuch a. Man lege eine gehende Taschenuhr auf das Ende einer langen Tischplatte oder einer Diele des Fußbodens und entferne sich so weit, daß man in der Luft das Ticken der Uhr nicht mehr hört. Legt man in dieser Entfernung das Ohr auf die Tischplatte (oder Diele), so vernimmt man das durchs Holz fortgeleitete Ticken sehr deutlich, woraus folgt, daß Holz für den Schall ein besserer Leiter ist, als die Luft.

Versuch b. An einen silbernen Löffel binde man einen Faden, nehme dessen eines Ende zwischen die Zähne und lasse den Löffel frei herabhängen. Hält man sich beide Ohren zu und bewegt den Oberkörper so, daß der Löffel gegen den Tisch schlägt, so hört man einen starken, glockenähnlichen Schall. Und doch kann der Schall dabei nur durch feste Körper, den Faden, die Zähne und die Knochen des Kopfes, sich bis zum Labyrinth und dem Gehörnerv verbreitet haben.

Versuch c. Noch deutlicher beobachtet man die Leitung des Schalles durch feste Körper, wenn man zwei Resonanzböden zu Hülfe nimmt; es sind das dünne, biegsame Brettchen, welche durch die Schallbewegung leicht in Schwingungen versetzt werden; brauchbar als solche sind die

Fig. 313.

unteren Böden der Cigarrenkisten. Man wählt zwei gleiche, 25 Cm. lange Cigarrenkisten, entfernt von jeder den Deckel und durchbohrt den unteren Boden in seiner Mitte. Dann stellt man beide Kisten oder Resonanzkasten so auf eins ihrer längeren Seitenbrettchen, daß sie einander die offene Seite zukehren, zieht durch die Durchbohrungen der Resonanzböden die Enden eines langen Bindfadens oder Drahtes und knüpft die Enden außerhalb der Kisten an Drahtstäbe von 4 Cm. Länge. Die Länge des Bindfadens richtet sich nach der Ausdehnung des Raumes

den man für den Versuch benutzen kann. Wo zwei Zimmer hinter einander liegen, kann man durch Schraubzwingen die Resonanzkasten auf die Fensterbretter so befestigen, daß der Faden gespannt ist, die Kasten einander die offenen Seiten zukehren, und der Resonanzboden selbst durch Nichts gehindert wird, sich zu bewegen. Es können auch zwei in verschiedenen Zimmern befindliche Personen, während die Thür offen steht, die Kasten halten, so hoch, daß das Ohr nicht weit von dem Kasten entfernt ist, und den Bindfaden straff anziehen. Im Freien bieten sich Gitter, Pfähle und Bäume als Gegenstände, an welche die durchbohrten Seitenwände der Kästen gebunden werden können, und so viel Raum, daß man den Bindfaden, oder besser den Draht, 100 M. lang nehmen kann. Das Ticken einer auf den einen Kasten gelegten Spindeluhr hört man deutlich an dem andern; eine auf dem einen Kasten stehende Spieldose tönt für ein an dem andern Kasten befindliches Ohr so stark, als ob sie in nächster Nähe wäre. Leises Sprechen bei dem einen Resonanzkasten und schwaches Klopfen an denselben wird vernehmlich bis zu dem andern geleitet; stärkeres Klopfen wird doppelt gehört, weil der Schall sowohl auf gewöhnlichem Wege, als auch durch den Bindfaden, und zwar mit ungleicher Geschwindigkeit, zu dem Ohr gelangt.

Taube, deren Labyrinth und Gehörnerv unverletzt sind, hören, indem sie das eine Ende eines Stabes auf den Resonanzboden eines Claviers und das andere gegen die Zähne oder ihre Schläfe stemmen. Das Heranrücken einer Truppenabtheilung, besonders der Reiterei, wird viel weiter gehört, wenn man das Ohr auf die Erde legt. In Bergwerken vernehmen die Arbeiter die durch das Gestein fortgeleiteten Schläge der ihnen entgegen arbeitenden Genossen. Zu den Kohlengruben von Cornwallis gehören Gänge, die sich unter dem Meere befinden; in diesen hört man das Rauschen der Wellen und das Rasseln der gegen einander bewegten Steine; der Schall wird dort durch den Erdboden abwärts geleitet. Eine Anwendung von der guten Leitungsfähigkeit fester Körper ist das Stethoskop, ein 20 Cm. langer, der Länge nach mit einer engen Bohrung versehener Holzcylinder mit tellerförmigen Erweiterungen an beiden Enden, dessen sich die Aerzte bedienen, um den Zustand der Athmungswerkzeuge zu erforschen; das Instrument wird auf die Brust des Kranken gesetzt, und das Holz leitet zu dem an dem anderen Ende des Instruments befindlichen Ohr des Arztes deutlich das Geräusch, welches die Bewegung der Luft in der Lunge verursacht, und aus welchem sich auf den Gesundheitszustand der Lunge ein Schluß machen läßt.

> **Gesetz:** Der Schall wird durch luftförmige, tropfbar flüssige und feste elastische Körper fortgepflanzt, und zwar ist für den Schall ein Körper ein desto besserer Leiter, je dichter, elastischer und gleichartiger er ist.

Versuch d. Man wiederhole den Versuch a mit der Abänderung, daß man die Uhr nicht unmittelbar auf die Tischplatte legt, sondern unter

sie eine dicke Lage Watte (Baumwolle), Zeug oder lederne Handschuhe schiebt. Alsdann wird ein an dem anderen Ende des Tisches horchendes Ohr das Ticken nicht vernehmen, und es folgt daraus, daß in sich ungleichartige, lockere Körper, wie Tuch, Pelz, Wolle, Baumwolle, Federn, Sägespäne, zur Fortleitung des Schalles wenig geeignet sind und ihn beträchtlich schwächen. In ihnen geht nämlich die Schallwelle von einer festen Schicht zu einer eingeschlossenen Luftschicht, wird in dieser durch die Unebenheiten der sie umschließenden festen Theile gestört und geht sehr geschwächt zu der zweiten festen Schicht; diese Störung und Schwächung wiederholt sich bei jedem folgenden Uebergang zu einer neuen Schicht und kann das völlige Aufhören der Wellenbewegung zur Folge haben.

§. 275. Die Stärke des Schalles.

Die Stärke des von uns vernommenen Schalles hängt nicht bloß von der Beschaffenheit des ihn zum Ohr leitenden Körpers und der Länge der darin zu durchlaufenden Strecke, sondern auch von der Stärke der schallerregenden Schwingung ab.

Ein in großer Entfernung fallender Pistolenschuß wird weit schwächer gehört, als in der Nähe; ein Wort wird nur in einem geringen Abstande deutlich gehört. Die Stärke des Schalles ist daher desto größer, je geringer die Strecke des leitenden Körpers ist, die er durchlaufen muß, oder je kürzer die Leitung ist. Die um einen Punkt erregten Wasserwellen sehen wir, je weiter sie sich von demselben entfernen, desto unbedeutender werden und zuletzt so verschwimmen, daß sie nicht mehr wahrzunehmen sind. Die um die Entstehungsstätte eines Schalles erregten kugelförmigen Luftwellen bewirken in größerer Entfernung eine immer geringere Verdichtung und Verdünnung der Luft, bis zuletzt die Schallwelle ganz verschwimmt und die nächsten Lufttheilchen nicht mehr merklich zu bewegen im Stande ist.

Aber auch die Schwingung, welche den Schall erregt, kann eine so geringe Stärke haben und so wenig leisten, daß der Schall nur schwach erscheint. Die Stärke der Schwingung nimmt sowohl mit der Größe der schwingenden Masse, als auch mit dem von ihr durchlaufenen Wege (§. 16) zu. Eine lange Peitsche knallt stärker, als eine kurze, es schwingt bei jener eine größere Masse, und eine größere Luftmenge wird bewegt; der Schall einer großen Glocke übertrifft den einer kleinen; durch den Schuß einer Kanone wird eine umfangreichere Luftmasse in Schwingung gesetzt, als durch einen Flinten- oder Pistolenschuß. Bei einem starken Schlage auf den Tisch durchlaufen die Theilchen des Holzes einen größeren Weg, wie das Zittern darauf liegender Körper anzeigt; ein von größerer Höhe herabfallender Regentropfen bringt höhere Wellenberge und tiefere Thäler in einer Wasserfläche und zugleich einen stärkeren Schall hervor; so bewirkt jeder in größeren Bogen schwingende Körper stärkere Schallwellen, die als Botschaft dem Ohr zukommen.

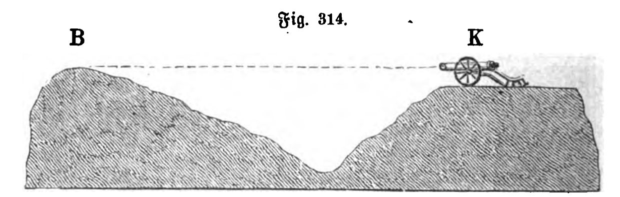
Gesetz: Die Stärke des Schalles nimmt theils mit der Vollkommenheit und Kürze der Leitung, theils mit der Stärke der schallerregenden Schwingung zu.

§. 276. Die Geschwindigkeit des Schalles.

Um von dem Orte ihrer Entstehung zu einem anderen Orte zu gelangen, gebrauchen die Schallwellen einige Zeit. Wenn man von möglichst großer Entfernung aus den Hammer eines Steinklopfers oder die Axt eines Holzhauers niederfallen sieht, so hört man den Schlag erst etwas später; das Licht hat sich augenblicklich bis zum Auge des Beobachters fortgepflanzt, der Schall aber hat einige Zeit verwandt. Wenn man in beträchtlicher Entfernung eine feindliche Kanone aufblitzen sieht, so kann man der Gefahr, getroffen zu werden, dadurch entgehen, daß man sich alsbald hinter dem Erdwall niederwirft. Wenn man aus dem Fenster eines oberen Stockwerkes ein marschirendes Regiment übersieht, so beobachtet man, obwohl sich Alle nach dem von denselben Trommeln angegebenen Takte richten, daß die Letzten den Fuß später niedersetzen, als die Vordersten; zu den Letzten kommt der Schall später, daher machen sie die Bewegungen nicht gleichzeitig, und das Ganze erhält ein wellenartiges Ansehen.

Gemessen hat man die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft durch vielfache Versuche, wobei man in großer, gemessener Entfernung Kanonen abfeuern ließ und genau die zwischen dem Aufblitzen des Pulvers und dem Ankommen des Schalles verflossene Zeit beobachtete. Man wählte

Fig. 314.



zwei erhabene, hinreichend weit von einander entfernte Standpunkte K und B, von deren einem aus man den anderen mit einem Fernrohr genau überschauen konnte. Auf den einen wurde eine Kanone gebracht; an den anderen Standpunkt B begab sich ein Beobachter, versehen mit einem Fernrohr und einer sehr genau gearbeiteten Uhr, welche Sekunden angab. Heitere, windstille Nächte wurden zu den Versuchen ausgewählt; in Pausen von 10 zu 10 Minuten sollte das Geschütz abgefeuert werden, und die Wiederholung sollte vor Irrthümern bewahren. Der Beobachter in B richtete sein Augenmerk darauf, wie viel Zeit nach seiner Uhr von dem Aufblitzen des Pulvers an bis zum Ankommen des Schalls verging. Da die Lichterscheinung in demselben Augenblick gesehen wird, so hatte der Schall die beobachtete Zeit gebraucht, um die zwischen den beiden Standorten liegende Strecke BK zu durchlaufen. Diese mußte sorgfältig gemessen werden.

Im Juni des Jahres 1822 ließen Humboldt und Arago auf

zwei Anhöhen bei dem Städtchen Montlhery, nicht weit von Paris, von 10 zu 10 Minuten Kanonen abfeuern; die Luftwärme betrug 13 Grad nach Réaumur, und die Entfernung der beiden Anhöhen 18613 M. Man hörte den Knall der Kanonen durchschnittlich 54,6 Sekunden nach dem Aufblitzen des Pulvers. Der Schall durchlief daher in 546 Zehntel-Sekunden 18613 M., folglich in einer Zehntel-Sekunde fast 34,1 M., und in einer Sekunde 341 M. Dies ist die Geschwindigkeit des Schalles bei 13 Grad R. Nun lehren andere Versuche, daß bei geringerer Luftwärme die Geschwindigkeit des Schalles für jeden Grad um 62 Cm. kleiner wird. Sie ist daher für Null Grad um 13 × 62 Cm. oder um 8 M. kleiner und beträgt 333 M.

Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt bei Null Grad Wärme 333 Meter in einer Sekunde. Bei größerer Wärme ist die Geschwindigkeit für jeden Grad um 62 Cm. größer.

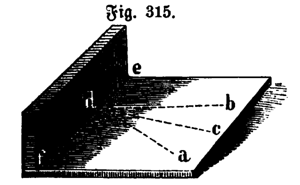
Bei der Kenntniß von der Geschwindigkeit des Schalles läßt sich aus den Nothschüssen eines Schiffes, bei denen man auf die Lichterscheinung und das Eintreffen des Schalles achtet, auf dessen Entfernung schließen, und aus der Zwischenzeit zwischen Blitz und Donner der Abstand eines Gewitters (§. 197) beurtheilen.

§. 277. Die Zurückwerfung des Schalles.

Wenn die Schallwellen bei ihrem Fortschreiten in der Luft auf einen dichteren Körper treffen, so werden sie von demselben zurückgeworfen. Die Zurückwerfung des Schalles geschieht ähnlich der Zurückwerfung fester elastischer Körper und der Zurückwerfung von Wasserwellen.

Versuch a. Man schiebt einen Tisch dicht an die Wand oder stellt darauf in senkrechter Stellung eine starke Platte oder ein dickes Buch. Wird dann eine Kugel, etwa ein Gummiball, in dem Punkt a auf die Tischplatte gelegt und in schräger Richtung angestoßen, so daß er die Wand in dem Punkte d trifft, so wird er von ihr zurückgeworfen, und seine neue Richtung db weicht nach der anderen Seite von der Wand ebenso sehr ab, wie seine frühere Richtung ad.

Fig. 315.



Der Winkel, unter welchem der Ball von der Wand zurückgeworfen wird, ist ebenso groß, wie der Winkel, unter welchem er sie zuerst getroffen hat.

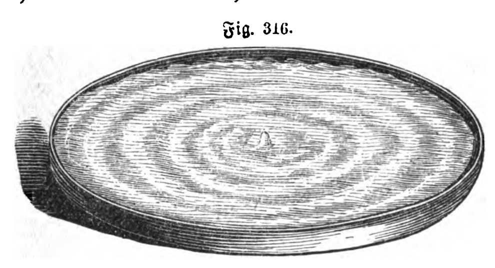
Darauf werde der Ball von dem Punkte c aus bewegt und treffe auf die Wand unter rechten Winkeln; er wird in derselben Richtung dc zurückgeworfen und kehrt wieder an den Punkt zurück, von dem er gekommen ist.

Ebenso muß eine von a kommende und in dem Punkte d schräg auf eine feste Fläche treffende Schallwelle nach der Zurückwerfung den schrägen Weg db einschlagen. Wäre aber die Schallwelle von dem Punkte c ausgegangen und hätte sie die Wand rechtwinklig getroffen, so würde sie auf demselben Wege nach dem Orte ihrer Entstehung zurückgekehrt sein.

Versuch b. In einer mit Wasser gefüllten Schüssel bilde dessen Oberfläche eine Kreisfläche. In den Mittelpunkt derselben lasse man einen Tropfen fallen; er erregt Wellen, die den Mittelpunkt umgeben und bis zur kreisförmigen Wand der Schüssel fortschreiten. Von derselben werden sie zurückgeworfen, kehren von allen Seiten zurück und vereinigen sich, ehe sie verschwimmen, zu einem hohen Wellenberge im Mittelpunkte des Kreises.

Durch Zurückwerfung der Schallwellen entstehen die Erscheinungen der Verstärkung des Schalles in einem umschlossenen Raume, des Nachhalls und des Echos.

Fig. 316.



1) In einem gewöhnlichen Zimmer treffen wegen der für eine so kleine Entfernung der Wände beträchtlichen Geschwindigkeit des Schalles die von diesen zurückgeworfenen Schallwellen unser Ohr ganz gleichzeitig mit den ursprünglichen Schwingungen und bewirken eine **Verstärkung des Schalles,** weshalb der Sprechende in einem Zimmer leichter verstanden wird, als im Freien.

2) In leeren Sälen und Kirchen, überhaupt solchen Räumen, deren Wände dem Entstehungsorte des Schalles weder sehr nahe sind, noch über 20 M. fern stehen, gelangen die zurückgeworfenen Schallwellen zu dem Ohre merklich später, als die ursprünglichen Schallwellen. Der Anfang der zurückgeworfenen fällt mit dem Ende der ursprünglichen Schallwellen zusammen; dadurch entsteht theils eine solche Verstärkung des Schalles, durch die er undeutlich wird, theils eine Verlängerung desselben. Die zurückgeworfenen, theilweise mit den ursprünglichen zusammenfallenden Schallwellen bilden den **Nachhall.** Wegen seines störenden Einflusses sucht man den Nachhall zu vermeiden, indem man die Wände entweder mit unelastischen Körpern, wie Tapeten und Decken, bekleidet, welche den Schall nur in sehr geringem Maße zurückwerfen, oder mit Unebenheiten, Zierrathen und durchbrochener Arbeit, versieht, welche die an sie schlagenden Schallwellen zerstören.

3) **Das Echo** entsteht, wenn eine 20 M. oder noch weiter entfernte Wand den Schall zurückwirft. Nicht bloß eine Felsenwand oder die Mauer eines Schlosses oder die Bäume eines entfernten Waldes verursachen ein Echo; sondern selbst gespannte Segel und hohe Wellen werfen zur See den Knall einer Flinte zurück. Daß solche zurückwerfende Wände, damit ein Echo entstehe, wenigstens 20 M. entfernt sein müssen, folgt aus der Geschwindigkeit des Schalles und der Erfahrung, daß unser Ohr in einer Sekunde höchstens 9 Sylben unterscheiden kann; vergeht zwischen einem Schalle und einem zweiten, auf ihn folgenden weniger, als eine Neuntel-Sekunde, so fließen beide

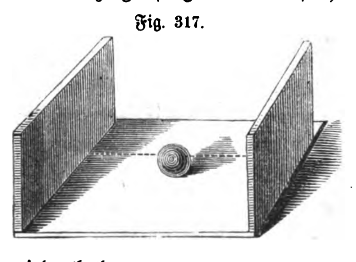
in einen einzigen, zusammengesetzten Schall zusammen. Das Echo muß sich aber von dem ursprünglichen Schall vollkommen deutlich unterscheiden lassen; folglich muß zwischen beiden wenigstens eine Neuntel-Sekunde verflossen sein. Die Entfernung der zurückwerfenden Wand muß daher wenigstens so groß sein, daß die Schallwellen ihren Hingang bis zu ihr und ihren Rückweg zusammen nicht in kürzerer Zeit, als in einer Neuntel-Sekunde zurücklegen. Zu dem Hingang allein muß der Schall den achtzehnten Theil einer Sekunde verwenden; in dieser Zeit durchläuft er 19 M. als den achtzehnten Theil von 333 M., dem Wege in einer ganzen Sekunde. Da es aber sehr schwer ist, 9 Laute in der Sekunde zu unterscheiden, und der Schall bei größerer Wärme eine größere Geschwindigkeit hat, nimmt man 20 M. als kleinste Entfernung der zurückwerfenden Wand an. Wände, die näher, als 20 M. sind, können daher wohl einen Nachhall, aber kein Echo geben.

Bei einer 20 M. betragenden Entfernung der zurückwerfenden Wand wiederholt das Echo nur eine Sylbe einmal, und wenn man mehr Sylben hinter einander ausspricht, so fällt das Echo der ersten mit der ausgesprochenen zweiten Sylbe zusammen, wird überschrieen und nicht gehört. Soll ein Echo zwei oder drei Sylben einmal wiederholen, so muß die Wand die doppelte oder dreifache Entfernung haben. In dem Park des englischen Schlosses Woodstock ist ein Echo, das 17 Sylben hinter einander klar und deutlich nachspricht; die Ruine Derenburg bei Halberstadt war sonst berühmt durch ein Echo, das 27 Sylben wiederholte, und das aufgehört hat, seitdem eine Mauer der Feste niedergerissen ist. Acht Kilo-M. von Warmbrunn in Schlesien liegt auf dem Gipfel eines Berges die Burg Kynast; ihr gegenüber erhebt sich, durch ein schmales, tiefes Thal, die Helle, vom Kynast getrennt, der Heerdberg. Wird nun vor dem Thurm der Burg, nach dem Heerdberg zu, eine Trompete geblasen, so wiederholt das Echo deutlich ein Mal acht Töne.

Wo das Echo einen Schall öfter, als einmal wiederholt, da geschieht die Zurückwerfung durch mehrere Wände, die entweder gleichlaufend sich gegenüberstehen oder an einander stoßen. Die wechselnde Zurückwerfung zwischen zwei gegenüberstehenden Wänden zeigt folgender Versuch.

Versuch c. Zwischen zwei auf einem Tische einander gegenüber lothrecht aufgestellten Platten oder dicken Büchern liege oder hänge eine elastische Kugel aus Elfenbein oder Gummi. Wenn man sie mit hinreichender Kraft gegen die eine der Platten bewegt, so wird sie zurückgeworfen, bewegt sich gegen die andere Platte und wird auch von ihr zurückgeworfen, und so kann sich die Zurückwerfung noch öfter wiederholen.

Fig. 317.



Stehen sich zwei Felsenwände in hinreichender Entfernung gegenüber, und erregt man zwischen ihnen einen Schall, so werden die Schallwellen von der linken Wand zurückgeworfen und bringen das erste Echo,

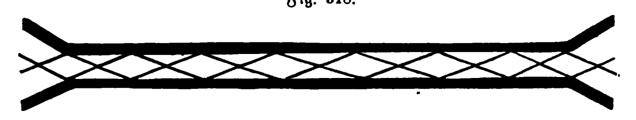
gehen an dem Ohr vorüber und treffen auf die Wand zur Rechten; auch von ihr zurückkehrend, bringen sie zum zweiten Mal ein Echo und bewegen sich zwischen den gegenüberliegenden Wänden hin und her, bis sie zuletzt so geschwächt werden, daß sie in dem Ohre nicht mehr die Wahrnehmung eines Schalles zu bewirken im Stande sind. — **Einsylbige mehrmalige Echos** finden sich bei der Villa Simonetta, an dem Loreleifelsen, in Kassel. Das große, düstere Schloß **Simonetta**, 8 Kilometer von Mailand, hat zwei gleichlaufende Seitenflügel, die nach dem H fast gar keine Fenster haben, und zwischen beiden wiederholt das E eine von dem großen Fenster des linken Flügels aus gerufene Sy 24 bis 30, den Schall einer Pistole 40 Mal. An dem **Loreley**fel nahe bei Oberwesel am Rhein wird durch die einander gegenüberstehenden Felsenmassen ein einsylbiges Wort 17 Mal hörbar zurückgeworfen. Au dem **kreisrunden Königsplatz zu Kassel** bilden die ihn umgebenden Häuser die zurückwerfende Wand; den Mittelpunkt des Kreises bezeichn ein aus weißen Steinen gepflasterter Stern, und eine hier gerufene Syl wird, besonders in der Nacht, 9 Mal vom Echo wiederholt; die von d Häusern zurückgeworfenen Wellen gehen nach dem Mittelpunkt zurück u durch denselben hindurch zu den gegenüberstehenden Häusern, kehren auch v da nach dem Mittelpunkte zurück und gehen wieder durch ihn hinüb Selten sind **mehrsylbige mehrmalige Echos**. Bei **Adersbach** i Böhmen erhebt sich eine Gruppe von etwa tausend Felsen; auf der W beim Eingange in dies sogenannte Felsenmeer giebt der zerklüftete E stein die Stätte an, von wo aus sieben Sylben oder sieben auf d Waldhorn geblasene Töne dreimal wiedertönen, zuerst ziemlich stark, da schwächer, endlich fast ersterbend, aber noch vollkommen deutlich.

§. 278. Die auf der Zurückwerfung des Schalles beruhenden Vorrichtungen.

Auf die Zurückwerfung des Schalles gründet sich die Einrichtung d **Schallrohrs, Sprachrohrs, Hörrohrs** und der **Sprachgewölbe**.

a. Ein Schallrohr oder Communicationsrohr ist eine überall glei weite Röhre, an beiden Enden offen und mit trichterförmigen Mundstück

Fig. 318.



versehen. Man arbeitet sie aus Blech oder Guttapercha und giebt ihr d Stärke eines Fingers. In das eine Ende wird hineingesprochen, und i der Nähe des anderen befindet sich das Ohr des Hörenden. Die Schal wellen werden durch die Wände der Röhre zusammengehalten und durc wiederholte Zurückwerfung von denselben gehindert, sich auszubreite daher werden die zu dem einen Ende hineingesprochenen Worte mit

unverminderter Stärke bis zu dem anderen Ende des Schallrohrs getragen. Bei Anlegung einer 1000 M. langen Wasserleitung zu Paris, zu der man gußeiserne Röhren verwandte, fand man, daß zur Nachtzeit selbst ganz leise hineingesprochene Worte an dem anderen Ende der Röhre noch gehört und verstanden wurden. Man wendet das Schallrohr besonders auf Schiffen und in weitläufigen Fabrikgebäuden an. Auf den Schiffen führt es aus der Cajüte des Capitains hinauf zum Mastkorbe und dient, um von der dort sich aufhaltenden Schildwache Erkundigungen einzuziehen oder ihr Befehle zu geben. In großen Fabrikgebäuden verbindet man, um Gänge zu sparen, die oft weit entlegenen Zimmer der Arbeiter mit dem Geschäftslokal des Dirigenten. Um die Kunststücke des wahrsagenden Türken hervorzubringen, benutzen die Taschenspieler die Schallröhre, die sie vom Munde einer Figur durch das Innere derselben, durch die Füße eines Stuhles und unter dem Fußboden verborgen in ein Nebenzimmer leiten, woselbst Jemand die vorgelegten Fragen hört und darauf antwortet; auch kann die Figur ganz fehlen, und die Oeffnung der Schallröhre hinter der Tapete der Wand oder unter einer vielfach durchbohrten, dünnen Stelle des Fußbodens versteckt sein und so das Kunststück des unsichtbaren Mädchens hervorbringen, das deutlich redet, ohne gesehen zu werden.

b. Das Sprachrohr.

Versuch. Auf ein Fensterbrett lege man übereinander drei oder vier Blättchen Papier und darauf eine Taschenuhr und untersuche, bis zu welcher Entfernung in gleicher Höhe mit der Uhr ihr Ticken noch zu hören ist. Darauf wickle man aus einem glatten Bogen Papier eine große Düte oder kegelförmige Röhre, deren engeres Ende zusammengekniffт wird, während das weitere Ende offen bleibt. Die Uhr wird so weit hineingeschoben, daß sie nahe dem engeren Ende liegt, und die Röhre sammt der Uhr auf das Fensterbrett gelegt. Das offene Ende der Röhre ist nach dem Innern des Zimmers gewandt. In wagerechter Linie mit ihr wird die Uhr jetzt viel weiter gehört. Die Schallwellen werden von den Wänden der Röhre so zurückgeworfen, daß sie außerhalb derselben alle in einer und derselben Richtung weiter gehen.

Das Sprachrohr ist eine kegelförmige Röhre, deren engeres Ende die vom Munde kommenden Schallwellen aufzunehmen hat und mit einem Mundstück versehen ist. Gewöhnlich giebt man dem Sprachrohr eine Länge von 2 M., am engeren Ende eine Weite von 5, am weiteren von 16 bis 26 Cm. Durchmesser und fertigt es aus gefirnißter Pappe oder Blech. Es hat den Zweck, die Schallwellen auf ihrem langen Wege durch die freie Luft zusammenzuhalten, damit hineingesprochene Worte auf größere Entfernungen hin verstanden werden. Wegen seiner kegelförmigen Gestalt erhalten die gegen die inneren Wände des Rohrs treffenden Schallwellen, nachdem sie mehrmals zurückgeworfen sind, fast alle eine und dieselbe Richtung; sie treten fast gleichlaufend in die freie Luft und setzen, gleich dem Wasser eines in das Meer mündenden Flusses, ihren gemein-

Fig. 319.

samen Weg weithin fort. Das Sprachrohr findet auf den Schiffen seine Anwendung, wenn mit der Bemannung eines andern in ziemlich großer Entfernung befindlichen Schiffes zu reden ist, und trägt eine starke Männerstimme vernehmbar bis 4 Kilometer weit. Das Sprachrohr ist 1670 von Moreland in England erfunden worden.

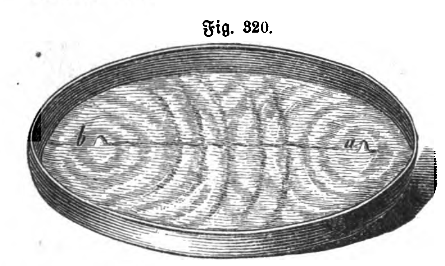
c. **Das Hörrohr,** ein umgekehrtes kleines Sprachrohr, besteht aus einem kegelförmigen Trichter, in welchen hineingesprochen wird, und einem daran befestigten biegsamen Schallrohr, dessen Ende der Schwerhörende ins Ohr steckt. Der Schall wird dadurch verstärkt, daß der Trichter eine größere Menge von Schallwellen aufnimmt, diese in dem engeren Schallrohr zusammengedrängt und verdichtet werden und dadurch einen stärkeren Eindruck auf das Ohr hervorbringen.

Versuch. Man bediene sich der vorher angewandten kegelförmigen Papierröhre und öffne beide Enden derselben. Nun halte man das Ohr so weit von einer auf Watte oder anderen lockeren Stoffen liegenden Taschenuhr, als die Röhre lang ist, und achte auf die Stärke des Tickens für diesen Abstand, ohne Gebrauch der Röhre. Sodann bringe man das weite Ende der Röhre unmittelbar über die Uhr, und das engere Ende des Hörrohrs ans Ohr. Der Schall wird jetzt stärker erscheinen.

d. **Sprachgewölbe** (Schallgewölbe).

Versuch. Man nehme ein länglich rundes Waschbecken und fülle es mit Wasser. In den meisten Fällen bildet der Grundriß eines solchen Beckens die Figur einer Ellipse. In jeder Ellipse finden sich zwei merkwürdige Punkte, welche die Brennpunkte derselben heißen. Läßt man an einem Stabe haftende Wassertropfen in den einen Brennpunkt fallen und hier Wellen erregen, so schreiten diese nach allen Seiten fort, bis sie die ellipsenförmige Wand des Beckens treffen; von dieser werden sie zurückgeworfen und vereinigen sich zu einem hohen Wellenberg, der sich in dem andern Brennpunkt erhebt. Leicht lassen sich bei einiger Aufmerksamkeit die Brennpunkte finden, indem man Tropfen nach und nach an andere Punkte fallen läßt, bis der Versuch gelingt. Die in dem einen Brennpunkt einer Ellipse erregten Wellen werden somit nach dem andern Brennpunkt zurückgeworfen.

Fig. 320.



Ist daher ein Gewölbe ellipsenförmig gebaut, so lassen sich darin zwei Brennpunkte finden, und die in dem einen Brennpunkt erregten Schallwellen vereinigen sich nach der Zurückwerfung in dem anderen und werden dort hörbar, während man an den dazwischen liegenden Stellen Nichts vernimmt. Zu den berühmtesten Sprachgewölben gehören die Kuppeln der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London und der Kirche zu Glocester; innerhalb der Kuppeln sind Gallerien, und auf diesen finden sich die beiden über 30 M. von einander ent-

fernten Brennpunkte; das leiseste Flüstern oder das Ticken einer Taschenuhr in dem einen Brennpunkt wird in dem andern deutlich vernommen. In der Kathedrale zu Girgenti auf Sicilien verstand man hinter dem Altar, was in dem dem westlichen Portale nahen Beichtstuhl gesprochen ward; ein Horcher, der diese Thatsache erspäht hatte, hörte aber mehr, als ihm lieb war; die Sache kam heraus, und der Beichtstuhl ward verlegt. In dem Conservatorium der Künste zu Paris befindet sich ein elliptisch gewölbter Saal, in dessen einer Ecke die in der anderen mit tiefer Stimme gesprochenen Worte zu verstehen sind, während man sie in der Mitte des Saals nur undeutlich hört. Im Alterthum war das berühmteste Sprachgewölbe das Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen bei Syrakus, das jetzt verfallen ist; in dasselbe sollen Gefangene gebracht worden sein, deren Gespräche man in einem ziemlich entfernten Zimmer behorchen konnte.

Der zusammengesetzte Schall.

§. 279. Der unregelmäßig zusammengesetzte Schall oder das Geräusch.

Ein einfacher Schall wird durch eine einzige Schwingung erregt und durch eine einzige fortschreitende Wellenreihe bis zum Ohr fortgeleitet. Häufig folgen aber mehrere Schalle so schnell auf einander, daß das Ohr die einzelnen nicht unterscheiden und heraushören kann, sondern alle zusammen als ein Ganzes auffaßt.

Versuch a. Ein Sandkörnchen, das auf Papier fällt, erregt einen einfachen Schall; läßt man aber schnell nach einander eine größere Menge Sandes hinabfallen, so erregt sie ein Geräusch. Das zweite fallende Sandkörnchen bewirkt einen zweiten, das dritte einen dritten einfachen Schall; aber diese Schalle folgen sich so schnell, daß sie in einen zusammengesetzten Schall zusammenfließen. Weil die einzelnen Körner einander nicht gleich sind und verschiedene Stellen des Papiers treffen, sind die Schwingungen, deren jede einen einfachen Schall erregt, einander nicht gleich. Auch verfließt bei der ohne Ordnung, regellos hinabfallenden Sandmenge keineswegs immer dieselbe Zeit zwischen der Entstehung der auf einander folgenden einfachen Schalle; sondern die Reihenfolge derselben ist unregelmäßig hinsichtlich der Beschaffenheit und Dauer der einzelnen Schwingungen. Einen solchen, unregelmäßig zusammengesetzten Schall nennen wir ein Geräusch.

Versuch b. Legen wir eine Walze (einen Bleistift) oder eine Kugel auf einen Tisch, so hören wir in dem Augenblick, da der Körper mit einem Theil der Tischplatte in Berührung tritt, einen einfachen Schall. Stoßen wir aber die Kugel an, so daß sie schnell hinter einander immer andere Theile der Tischplatte erschüttert und eine unregelmäßige Reihen-

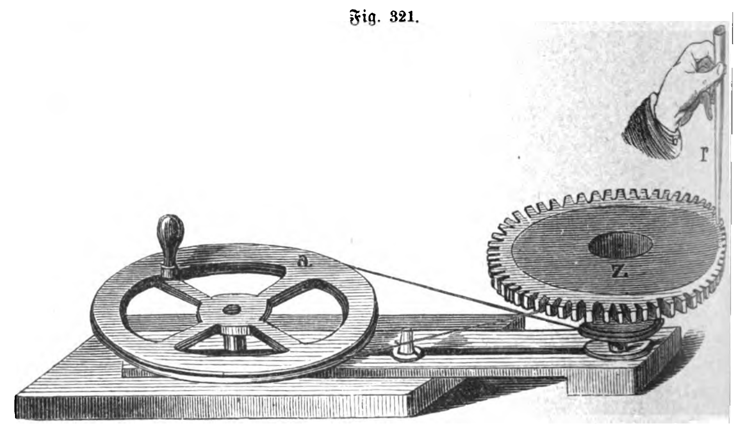
folge einfacher Schalle erregt, so vernimmt das Ohr ein Geräusch, d
wir mit dem Namen des Rollens bezeichnen.

Ein Berühren mit einer Nadelspitze bringt einen einfachen Scha
ein Bewegen der Spitze auf einem anderen Gegenstande ein Geräu
hervor, das wir Kratzen nennen; eine spitze Feder, welche verschiede
artige Theile des Papiers schnell nach einander erschüttert, kritzelt. D
Knarren der Räder oder einer Schachtel, deren Deckel durch Umdreh
geöffnet wird; das Klirren hinabfallender Fensterscheiben, wobei b
dieser, bald jener Theil derselben eine Erschütterung erleidet; das Schril
des Porzellans, über dessen ungleiche Theile eine Messerspitze dahingle
sowie das Rasseln eines über die Unebenheiten des Bodens schn
dahinfahrenden Wagens; das Zischen der sich plötzlich ausdehnen
Dampfblasen, die beim Eintauchen eines heißen Eisens in Wasser e
stehen und gegen die Wassertheilchen stoßen; das Brausen des geg
feste Körper stoßenden Windes, dessen Geschwindigkeit bald abnimmt, b
zunimmt; das Rauschen der nach ungleichen Zwischenzeiten bewegt
Blätter; das Rieseln des Baches und das Plätschern der Que
das Rollen des Donners oder eines entfernten Rottenfeuers: das
sind Beispiele eines Geräusches oder eines anhaltenden, unregelm
zusammengesetzten Schalles.

§. 280. Der regelmäßig zusammengesetzte Schall oder der T

Versuch. Aus dünner, glatter Pappe wird eine kreisrunde S
geschnitten, die 15 bis 30 Cm. im Durchmesser haben kann. Den Um

Fig. 321.



der Scheibe theile man in etwa 24 gleiche Theile und jeden dieser Th
wieder in 2 ungleiche Stücke. Und zwar werde stets das erste, klein
Stück ausgeschnitten, und das größere bleibe stehen. So entsteht ein
zahntes Rad, dessen Zähne breiter sind, als die Oeffnungen zwischen ihn
Die Zähne sind gleich weit von einander entfernt und in der Richt
der Halbmesser gleich lang, von etwas mehr, als einem Centimeter Län

So vorgerichtet, wird die durchbrochene Scheibe über den unteren Theil einer Stricknadel gesteckt und mittels eines von unten und eines von oben her über die Nadel dagegen geschobenen Korkes befestigt. Die Nadel wird lothrecht auf den Tisch gestellt, vielleicht noch, wie in §. 323, vor Bewegung nach der Seite gesichert und durch die Hand, die oben anfaßt, oder durch eine Schnur ohne Ende in eine drehende Bewegung gesetzt. Ferner nehme man eine kleine Röhre, deren untere Oeffnung kleiner ist, als die Oeffnungen der Scheibe; man kann sie aus zusammengerolltem Papier herstellen. Die ganze Vorrichtung ist eine Sirene in ihrer einfachsten Gestalt.

Während man nun die Scheibe in gleichmäßige, drehende Bewegung setzt, hält man die Röhre lothrecht, nahe über dem Umfang der Scheibe, und bläst mit dem Munde durch die Röhre. So oft eine Oeffnung darunter sich befindet, wird die Luft unter ihr durch den hinzukommenden Luftstrom verdichtet. Darauf tritt ein Zahn der Scheibe unter die Röhre, der Luftstrom wird unterbrochen und die verdichtete Luft unter dem Zahn dehnt sich aus und verdünnt sich. So viel Oeffnungen der Scheibe daher unter der Röhre weggehen, eben so oft tritt eine Verdichtung und Verdünnung, ein Hingang und Hergang der Luft ein. Hin- und Hergang zusammen werden in der Lehre vom Schall eine Doppelschwingung (oder auch eine Schwingung) genannt, während am Pendel dieselbe Bewegung nach §. 63 als zwei Schwingungen würde gerechnet werden. Dreht man die Scheibe schnell genug, so vernimmt man einen Ton, der bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit eine bestimmte Höhe hat. Der Versuch zeigt, daß der Ton ein zusammengesetzter Schall ist, den nicht eine einzelne Schwingung, sondern eine Anzahl schnell auf einander folgender Schwingungen hervorbringt. Diese Schwingungen geschehen an derselben Stelle; sie dauern gleich lange, weil die Oeffnungen der Sirene gleich sind, und erfolgen in regelmäßigen Zwischenräumen, weil auch die Zwischenräume zwischen den Oeffnungen gleiche Breite haben.

Ein Ton ist ein regelmäßig zusammengesetzter Schall und entsteht durch eine regelmäßige, schnelle Wiederholung eines Schalles, welche das Ohr als ein Ganzes auffaßt.

§. 281. Die Tonhöhe und die Tonleiter.

Versuch a. Dreht man die für den vorhergehenden Versuch gefertigte Sirene schneller, so daß in derselben Zeit eine größere Anzahl von Schwingungen erfolgt, so vernimmt man einen höheren Ton. Bei noch schnellerem Umdrehen wird der Ton noch höher. Dieselbe Anzahl von Schwingungen in derselben Zeit giebt immer wieder denselben Ton und heißt seine Schwingungszahl.

Gesetz: Ein Ton ist desto höher, je größer seine Schwingungszahl ist.

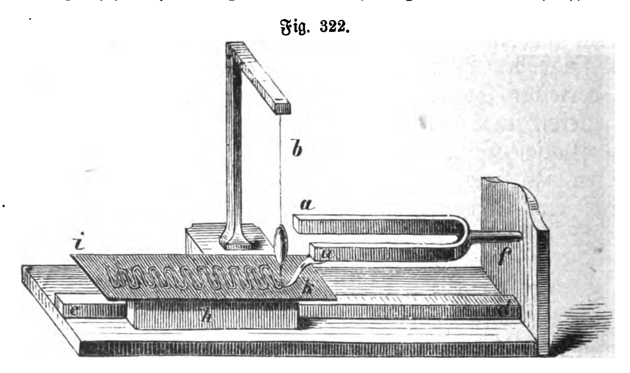
Damit man die Schwingungszahlen der verschiedenen Töne auffinden könne, befestigt man die durchbrochene Scheibe der Sirene an das kleinere Rad einer Schnur ohne Ende (§. 49), während man das größere

Rad mittels einer Kurbel umdreht. An der gemeinsamen Axe des kleinere[n]
Schnurrades und der Sirene sitzt ferner ein Getriebe (§. 50) mit wenige[n]
Zähnen und greift in ein großes Sternrad, dessen Axe über einer ein[ge]-
theilten Kreisscheibe einen Zeiger trägt. Sternrad und Zeiger beweg[en]
sich weit langsamer, man kann die Anzahl ihrer Umdrehungen leicht zäh[len]
und daraus je nach der Anzahl der Zähne die Zahl der Umdrehung[en]
berechnen, welche die Sirene während einer gewissen Zeit gemacht ha[t].
So viel Oeffnungen aber die Sirene hat, so viel Doppelschwingung[en]
macht die Luft bei jeder Umdrehung der Scheibe.

Versuch b. Man überzieht eine **Glasscheibe** auf einer Seite m[it]
Ruß, indem man sie über einer Licht- oder Lampenflamme hin und h[er]
bewegt, und legt sie auf den Tisch. Darauf befestigt man unten an d[ie]
eine Zinke einer **Stimmgabel** mit Wachs ein **Schreibfederchen**, [wie]
in der nächsten Figur, das aus einem 3 bis 4 Cm. langen, gebogene[n]
und unten zugespitzten Streifchen Schreibpapier besteht. Die Stimmgab[el]
wird durch Anschlagen zum Tönen gebracht, die Schreibfeder leise a[uf]
die berußte Glasscheibe aufgesetzt, und nun die Stimmgabel in der Länge[n]-
richtung der Scheibe bewegt. Die Schreibfeder **zeichnet** dann in de[m]
Ruß jede Schwingung der Stimmgabel auf. Bei einiger Uebun[g]
gelingt der Versuch mit einer gewöhnlichen Stimmgabel.

Hierauf beruhen die **Phonautographen** oder **Vibrographen**, d. h. [die]
Vorrichtungen zur schriftlichen Darstellung der Schwingungen töner[nder]
Körper, die zuerst 1830 von W. **Weber** angegeben sind. Einer der [ein]-
fachsten Vibrographen hat folgende Einrichtung. An ein passendes Ge[…]

Fig. 322.



ist eine **Stimmgabel** auf mit ihrem Stiel so befestigt, daß ihre Zinke[n]
wagerecht schweben; die Stimmgabel wird aus ungehärtetem Stahl vo[n]
einem Schlosser gearbeitet; der Stiel wird mit einem Schraubengewinde
versehen. Ist ihr Ton nicht rein, so macht man ihn **höher**, indem man
von den Enden der Zinken a und u etwas abfeilt; man macht den To[n]
tiefer, indem man aus der Krümmung zu beiden Seiten des Stiels
etwas wegfeilt. Kleinere Stimmgabeln werden durch Streichen mit einem
Violoncellbogen zum Tönen gebracht, größere durch Anschlagen mittels
eines mit Tuch bewickelten Stabes. Einer größeren Gabel giebt man

zweckmäßig 26 Cm. Länge, 12 Mm. Breite und 67 Mm. Dicke. Unten an die eine Zinke u der Gabel wird mit Wachs das Schreibfederchen aus Schreibpapier befestigt. Die Spitze der Schreibfeder drückt auf eine oben mit Ruß überzogene Glasplatte ik; dieselbe läßt sich sammt dem Brett, das sie trägt, verschieben. Wird die Stimmgabel angeschlagen, so drückt die Schreibfeder auf das Ende i der Glasplatte; während Stimmgabel und Schreibfeder schwingen, schiebt man mit der Hand die Glasplatte und das Brett, das sie trägt, in der Richtung von d nach c gleichmäßig fort. Die Schreibfeder radirt dabei in den Ruß eine Wellenlinie und schreibt auf diese Weise jede Schwingung der Gabel auf. Um die Schwingungszahl der Gabel für eine Sekunde zu finden, hängt man über dem Glase ein nicht zu leichtes Pendel auf, das halbe Sekunden angiebt (§. 65 und ff.) und mittels eines senkrechten Papierstreifchens in den Ruß schreibt; das Pendel schwingt quer über die Glasplatte, in der Richtung von a nach u, und zeichnet am Anfang, in der Mitte und am Ende der Sekunde je einen Querstrich durch die Wellenlinie. Die beiden äußersten Querstriche begrenzen die Schwingungen der Gabel in einer Sekunde; dieselben sind leicht zu zählen.

Folgendes sind die wichtigsten Ergebnisse dieser Versuche:

a. Der tiefste Ton, welcher in der Musik zur Anwendung kommt, das Subcontra-C, das zwei Octaven tiefer liegt, als das große, tiefste C des Pianinos, macht in einer Sekunde 16 Doppelschwingungen. Und selten werden höhere Töne gebraucht, als das fünfmal gestrichene c, dem 4096 Doppelschwingungen zukommen. Zwischen beiden Tönen liegen die acht Octaven, welche die ganze Musik umfaßt.

b. Die **Octave** irgend eines Tones wird durch die doppelte Anzahl von Schwingungen hervorgebracht. Jeder Ton hat seinen Namen, der mit dem alten Zeichen für den Ton übereinstimmt. Bevor nämlich die jetzige Notenschrift erfunden ward, schrieb man die Noten ohne Linien nur mit lateinischen Buchstaben, mit großen, kleinen und solchen, über oder unter welche man Striche machte. Das tiefste, Subcontra-C der Orgel hat zur höheren Octave das Contra-C mit 32 Doppelschwingungen. Darauf folgt das große C mit 64, das kleine c mit 128, das eingestrichene $\bar{c}$ mit 256, das zweigestrichene $\bar{\bar{c}}$ mit 512, bis zum fünfgestrichenen $\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$ mit 4096 Doppelschwingungen für die Sekunde.



Grosses C.	Kleines c.	Eingestrichenes c.	Zweigestrichenes c.	Dreigestrichenes c.	Viergestrichenes c.
64	128	256	512	1024	2048

Doppelschwingungen in einer Sekunde.

c. Die zwischen einem Ton und seiner Octave liegenden Töne bilden eine **Tonleiter**. Während C eine Doppelschwingung vollendet macht der nächst höhere Ton, die Sekunde D $^9/_8$, die Terz E $^5/_4$, wie es folgende Zusammenstellung zeigt.

Grundton.	Sekunde.	Terz.	Quarte.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Octave.
C	D	E	F	G	A	H	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2.

Hieraus läßt sich leicht die Zahl der Schwingungen für jeden Ton berechnen. D macht $^9/_8$ Mal so viel, als C; da aber das große C durch 64 Doppelschwingungen für die Sekunde entsteht, so macht D $^9/_8 \times 64 = 72$ Doppelschwingungen. Die Octave von D aber muß $2 \times 72 = 144$ Doppelschwingungen vollenden. Folgendes sind die Schwingungszahlen für die **kleine Octave** oder die Tonleiter, die mit dem kleinen c als ihrem tiefsten Ton beginnt.

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
128	144	160	$170^2/_3$	192	$213^1/_3$	240	256

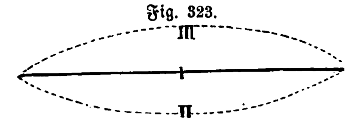


Diese Schwingungszahlen geben die vollkommen reinen Töne in der Tonart, welche von c als Grundton ausgeht. Da aber zu fordern ist, daß man auch in andern Tonarten spielen könne, so müssen die Töne innerhalb einer Octave sämmtlich Abweichungen von ihren ursprünglichen Schwingungszahlen erleiden, die so gering sind, daß sie dem Ohr nicht auffallen. So muß, wie g die Quinte für c ist, auch a die Quinte für den Grundton d sein und $^3/_2$ Schwingungen machen, während d eine Schwingung vollendet. d hat die Schwingungszahl 144, a müßte daher als Quinte von d $^3/_2 \times 144 = 216$ Schwingungen machen, während es als Sexte von c nur die Schwingungszahl $213^1/_3$ hat. Dieser Unterschied ist beim Stimmen vorsichtig auf die einzelnen Töne zu vertheilen, wogegen alle Octaven völlig rein erhalten werden müssen.

§. 282. Tönende Saiten.

Versuch a. Zur Beantwortung der Frage, wie eine tönende Saite schwingt, kann man sich eines Fadens bedienen, der auf dieselbe Weise schwingt. Man nimmt einen 2½ M. langen Zwirnfaden, bindet sein eines Ende an eine Thürklinke und wickelt sein anderes Ende, um es bequem in der Hand halten und spannen zu können, um ein zusammengelegtes Stück Papier. Das Ende drückt man nahe der Hand auf die Lehne eines untergestellten Stuhles nieder. **Reißt** man mit der anderen Hand die Mitte des Fadens abwärts und läßt ihn dann los, so kehrt er aus seiner gekrümmten Lage Nr. II, indem er sich zusammenzieht, mit zunehmender

Fig. 323.



der Geschwindigkeit in seine ursprüngliche Ruhelage Nr. I zurück. In derselben kommt er aber nach dem Beharrungsgesetze §. 36 nicht zur Ruhe, sondern geht mit abnehmender Geschwindigkeit darüber fast eben so weit, bis in die Lage Nr. III hinaus. Von hier kehrt er wieder zurück, gelangt aber wegen des Widerstandes der Luft nicht ganz bis in die zweite Lage. Indem der gespannte Faden von da aus wieder in die Nähe seiner dritten, oberen Lage schnellt, beginnt er seine zweite Doppelschwingung und bringt den zweiten einfachen Schall hervor. Wie die Schwingungen des Pendels, haben auch die Doppelschwingungen der Saiten unter einander gleiche Zeitdauer und verursachen daher eine regelmäßige Wiederholung desselben Schalles, welche zu einem Ton zusammenfließt. So schwingt eine Saite als ein Ganzes hin und her, indem sie regelmäßig quer über ihre Ruhelage hinweggeht; ihre Schwingungen sind Transversalschwingungen oder Querschwingungen.

Nächst der Beschaffenheit der Schwingungen einer Saite ist zu untersuchen, wovon die Höhe des Tons abhängt, den eine Saite giebt.

Versuch b. Neben dem einen Ende des im vorhergehenden Versuch gebrauchten Fadens befestige man einen Bindfaden; ihre anderen Enden binde man an ein Stäbchen, das man in der Mitte anfaßt, um beide Fäden gleich stark zu spannen. Der dünnere Faden wird einen höheren Ton geben. Der Ton eines gespannten Fadens oder einer Saite ist desto höher, je dünner sie sind. Darum giebt man den Saiteninstrumenten für die tieferen Töne dickere und für die tiefsten besponnene Saiten.

Versuch c. Man halte den Faden mit der Hand wenig gespannt, er wird einen tiefen Ton geben. Zieht man ihn straffer an, so wird der Ton höher; durch die stärkere Spannung wird die Elasticität vermehrt, und dadurch die Anzahl der Schwingungen und der Ton erhöht. Der Ton einer Saite ist desto höher, je stärker sie gespannt ist. Beim Stimmen eines Instruments werden die Saiten mit Hülfe der Wirbel stärker gespannt, wenn ihr Ton zu tief ist.

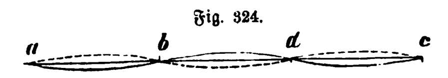
Versuch d. Wird der ganze Faden durch Reißen zum Tönen gebracht, so giebt er bei derselben Spannung auch stets denselben Ton. Nun stelle man aber den Stuhl mitten unter den Faden, drücke diesen bei unveränderter Spannung auf die Stuhllehne nieder und lasse das Stück des Fadens zwischen seinem Befestigungspunkte und dem Stuhl schwingen. Der Ton wird weit höher sein. Es tönt nur ein Stück des gespannten Fadens oder ein kürzerer Faden, und es ist leicht zu finden, daß der Ton desto höher wird, je kürzer die Saite ist.

Gesetz: Der Ton einer Saite ist desto höher, je dünner, je stärker gespannt und je kürzer sie ist.

Versuch e. Theilt man eine Saite durch leise Berührung mit einem Finger in zwei ungleiche Theile, so daß der eine ab $1/3$, und der andere bc $2/3$ der ganzen Saite lang ist, und streicht man, nachdem man sehr schmale Papierstückchen, sogenannte Reiterchen, über die Saite gehängt hat, in der Mitte des kleineren Theils ab, so zeigt die Bewegung der Papier-

stückchen zunächst, daß auch der größere Theil der Saite schwingt, fern
da Papierstückchen an einer Stelle ruhig verharren, daß die Mitte d
längeren Stückes d in Ruhe bleibt. Es theilt sich also die schwingen
Saite in drei gleiche Theile, von denen jeder für sich schwingt.
zwei benachbarte schwingen in entgegengesetzter Richtung und sind du
einen Ruhepunkt, den man ein Schwingungsknoten nennt, v einander getrennt. Der Ton, d man hört, ist die Octave d

Fig. 324.

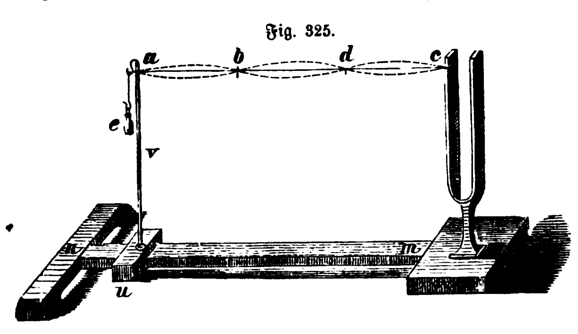


Quinte; die Quinte hat als Saitenlänge $^2/_3$ des Grundtons, die Octave d
Quinte entsteht durch $^1/_3$ von der Saitenlänge des Grundtons. Der dur
die Schwingungen einer sich theilenden Saite hervorgebrach
Ton entspricht der Länge eines ihrer gleichen Theile. Liegt d
berührte Schwingungsknoten $^1/_4$ der Saitenlänge von dem einen Ende d
Saite entfernt, so hört man die doppelte Octave, bei 5 gleichen Theil
die doppelte Octave der großen Terz. Diese durch leise Berührung d
Schwingungsknoten hervorgebrachten Töne einer getheilten Saite heiß
Flageolettöne.

Dieselben hohen Töne hört ein geübtes Ohr neben dem Hauptto
einer längeren Saite, woraus sich ergiebt, daß eine Saite gleichzeitig
wohl als Ganzes, als auch in einzelnen Theilen schwingen kann.

Versuch f. Sehr schön läßt sich diese Schwingungsweise mit
einer Stimmgabel und eines Fadens sichtbar machen. An
Brettchen w ist wagerecht ein Lineal mn von 32 Cm. Länge befes
längs des Lineals läßt sich ein lothrechter Träger uv verschieben, wel
oben zum Ueberhängen eines Faden eingerichtet ist. A die Mitte des Brett chens ist der Sti einer gewöhnli Stimmgabel b stigt; oben an eine Zinke ist eine Ende eines dünnen Fadens bunden; das an

Fig. 325.



Ende des Fadens wird über den verschiebbaren Träger uv gelegt
durch ein sehr kleines Gewicht e schwach gespannt. Die Stimmgabel w
durch Anschlagen mittels eines mit Wolle bewickelten Stäbchens zum T
gebracht, und durch Verschieben des Trägers uv die Länge des Fadens
gefunden, bei der er als ungetheiltes Ganzes schwingt oder eine h
Welle bildet. Entfernt man den Schieber doppelt so weit von der näch
Zinke der Gabel, so daß bc doppelt so lang, als dc ist, so schwingt
Faden in zwei Theilen; bei dreifacher Entfernung entstehen drei, bei
facher vier halbe Wellen.

Eine *Anwendung* von den Schwingungen der Saiten in einzelnen Theilen ist die *Aeolsharfe oder Windharfe*; sie besteht aus einem Resonanzboden, der auf einen 1 M. langen, 20 Cm. breiten und 12 Cm. hohen Holzrahmen geleimt ist, und aus 6 bis 8 gleichgestimmten Darmsaiten (a-Saiten der Violine), die auf dem Resonanzboden über zwei Stege gespannt sind und das große F angeben. Setzt man das Instrument dem Luftzug aus, indem man es des Abends in ein etwas geöffnetes Fenster stellt, so theilen sich die Saiten unter Einwirkung der sich bewegenden Luft in verschiedene Anzahlen gleicher Theile und geben zusammentönend schöne Accorde. Eine ähnliche Erscheinung zeigen bei windigem Wetter die *Telegraphendrähte*; die Telegraphenstangen wirken dabei wie Resonanzböden (§. 283).

§. 283. Die Mittheilung der Tonschwingungen.

Versuch a. Man halte eine Taschenuhr zuerst in der Hand und lege sie darauf auf den Tisch. Ihr Ticken wird jetzt, wo sie mit dem Holz in Berührung ist, in derselben Entfernung viel *stärker* gehört.

Versuch b. Einen etwa 60 Cm. langen Faden, dessen Enden fest um Papier gewickelt sind, halte man frei zwischen beiden Händen gespannt und versetze ihn dabei durch Anreißen mit dem Finger in tönende Schwingungen. Der Ton wird nur schwach sein. Dagegen halte man das eine Ende des Fadens um eine Kante der Tischplatte und drücke das andere Ende hinter ein auf dem Tisch liegendes Stäbchen nieder. Der Ton wird jetzt weit *stärker* sein.

Fig. 326.

Versuch c. Auf einer Violine stimme man zwei benachbarte Saiten so, daß sie denselben Ton geben, und streiche die eine derselben an. Die andere Saite wird mittönen, und man wird ihre Tonschwingungen leicht beobachten können, wenn man einen schmalen, oben zusammengebogenen Papierstreifen über die zweite Saite setzt. Wie hier die Schwingungen sich der gleichgestimmten Saite *mittheilen* und sie bewegen, so theilen sie sich auch denjenigen Holzfasern mit, welche denselben Ton geben können, und werden, da diese zahlreich sind, beträchtlich *verstärkt*. Während eine Saite allein nur einen schwachen Ton hat, giebt die größere Holzplatte mit ihren vielen mittönenden Fasern einen weit stärkeren Ton. Das Mitschwingen eines umfangreicheren Körpers, das den Ton der ursprünglichen Schwingungen verstärkt, heißt die *Resonanz*.

Darauf beruht die Anbringung des *Resonanzbodens* bei jedem Saiteninstrumente; derselbe muß aus trocknem, elastischem und gleichfaserigem Holze gearbeitet sein; die kürzeren Holzfasern befinden sich meistens auch unter den kürzeren Saiten, die längeren unter längeren und dickeren Saiten.

Versuch d. Um die Schwingungen der Fasern eines Resonanzbodens bemerkbar zu machen, nehme man drei Borsten (aus einem Haarbesen) und binde sie durch einen umgewickelten Faden so an ein kleines Kork-

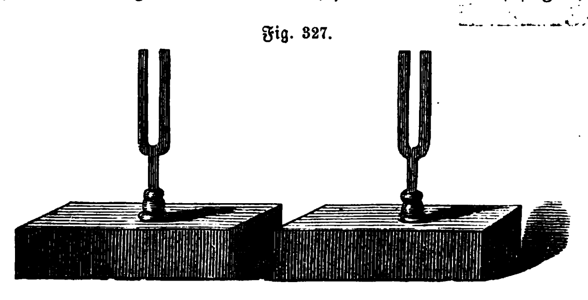
stückchen, daß die Borsten auf einer Seite gleich weit, etwa 2,5 Cm., vorstehen und die Füße bilden, auf denen es steht, wie ein Tischchen mit drei Füßen. Diese Vorrichtung stelle man auf den Resonanzboden eines Flügels. Schlägt man verschiedene Tasten an, so wird man bald diejenigen ausfindig machen, deren Saiten auch die Stelle des Resonanzbodens in Schwingungen setzen, auf der die Borsten ruhen. Sammt dem Korkstückchen werden diese dann anfangen, sich zu bewegen.

Versuch e. Auch Luftsäulen tönen mit festen Körpern, wenn diese in Schwingungen gebracht sind, und umgekehrt theilen sich festen Körpern die Schwingungen einer Luftsäule mit. Die Schwingungen einer Stimmgabel werden durch die Resonanz des Holzes verstärkt, wenn man den Stiel derselben auf den Tisch stemmt. Macht man sich aber eine 5 Cm. weite und 15,8 Cm. lange Röhre aus Pappe, die an dem einen Ende verschlossen ist, und hält man die eine Zinke der angeschlagenen Stimmgabel an das offene Röhrenende, so wird man die Luftsäule in der Röhre mittönen hören. Noch lauter tritt dies Mittönen ein, wenn man den Stiel der Stimmgabel mitten auf die Röhre stemmt.

Versuch f. Aus zwei Cigarrenkistchen zu hundert Stück fertige man sich zwei nur an einer schmalen Seite offene Kasten von 15,8 Cm. Länge und 6,8 Cm. Breite. Beide Resonanzkasten müssen genau gleich lang sein. Nun stelle man den einen auf den Tisch, halte den anderen frei in der Hand, in der Art, daß die offenen Enden der Kasten einander zugekehrt sind, und stemme den Stiel der angeschlagenen Gabel auf den Kasten, den man in der Hand hält. Die Luftsäule in diesem Kasten schwingt mit der Stimmgabel, und die Luft in dem andern Kasten beginnt, was man aus der Verstärkung des Tons hört, mit der ersten Luftsäule mitzutönen, wenn man beide Kasten nahe genug gebracht hat. — Oft haben die Wassereimerchen an den Fenstern eine solche Größe, daß sich der Versuch ohne Weiteres mit ihnen anstellen läßt.

Aber man kann noch mehr erlangen. Man lasse an die Griffe von zwei Stimmgabeln Gewinde schneiden und befestige jede oben auf einen der Kasten, indem man über dem Brett ein Tuchstückchen und eine Schraubenmutter anbringt und ebenso darunter und so das Brett nicht zu fest einklemmt. Man kann auch auf jeden Resonanzkasten ein in der Mitte

Fig. 327.



durchbohrtes, 3,5 Cm. breites, ebenso langes und 1,8 Cm. hohes Klötzchen leimen, die Bohrung mit heißem Siegellack füllen und, nachdem derselbe fest geworden ist, den stark erwärmten Stiel der Stimmgabel einsetzen. Beide Gabeln müssen genau denselben Ton (§. 281 b) angeben. Wird die eine

angeschlagen oder besser mit einem Violinbogen angestrichen, so tönt die Luftsäule unter ihr mit; diese regt bei hinreichender Nähe die Luft in dem andern Kasten zum Tönen an, und mit dieser klingt endlich die zweite Stimmgabel mit. Wenn man die Zinken der ersten Gabel mit den Fingern festhält, tönt deutlich die zweite über ihrem Resonanzboden weiter. Zur Noth genügt es, da man die Kasten auf dicke Lagen Papier stellen kann, daß man, statt sie zu befestigen, die Stiele der Gabeln fest gegen den oberen Boden der Kasten drückt.

§. 284. Die Saiteninstrumente.

Die Saiteninstrumente zerfallen in drei Gruppen, je nachdem der Ton durch Streichen mit dem Bogen, durch Reißen mit den Fingern oder durch Tastenanschlag hervorgebracht wird. Es bilden die

erste Gruppe (Streichinstrumente): Violine, Bratsche, Violoncello, Contraviolon;

zweite Gruppe: Harfe, Guitarre, Lyra;

dritte Gruppe: Clavier, Pianino und Flügel.

Schon die Art, wie der Ton aus den Saiten gewonnen wird, ändert die Klangfarbe, das heißt, die eigenthümliche Färbung, durch welche gleich hohe Töne sich unterscheiden; auch hat der Stoff, aus dem die Saiten bestehen, vor allem aber die Beschaffenheit des Resonanzbodens Einfluß auf die Beschaffenheit des Klanges.

Die Grundlage der Orchestermusik machen die Streichinstrumente aus, welche in ihrem Bau einander sehr ähnlich sind. Ober- und Unterdecke umschließen einen Kasten, dessen Seitenwände die Zarge genannt werden. Die aus altem Tannenholz gearbeitete Oberdecke ist der Resonanzboden und theilt auch der Unterdecke durch ein zwischen beide gestemmtes Stäbchen, die Stimme, ihre Schwingungen mit. Beide Decken sind in der Mitte ausgeschweift, sowohl um dem Bogen hinreichenden Spielraum zu lassen, als auch um Holzfasern von verschiedener Länge für die verschiedenen Töne zu gewinnen. Diese Absicht bestimmt auch die Gestalt der Schalllöcher, welche nöthig sind, damit nicht die Elasticität der eingeschlossenen Luft die Schwingungen der Decken hemme. Der mit Colophonium gestrichene Bogen zieht beim Spiel die Saite nach der Richtung des Bogenstriches; sie folgt ihm, aber nur bis zu einer gewissen Grenze; alsbald schnellt sie vermöge ihrer Elasticität zurück, wird von Neuem herübergezogen und schnellt wieder zurück. Da jedes Streichinstrument nur 4 Saiten hat, müssen die übrigen Töne durch Greifen mit den Fingern bestimmt werden; wo der Finger eine Saite auf das Griffbrett niederdrückt, da hat die jedes Mal tönende Saite ihr Ende. Nimmt man eine Violine und drückt eine Saite genau in ihrer Mitte nieder, so daß eine halb so lange Saite schwingt, so hört man die Octave. Nach §. 281 macht die Octave doppelt so viel Schwingungen; folglich hat die

Hälfte einer Saite genau die doppelte Schwingungszahl. Wird die Saite durch Greifen mit dem Finger dergestalt verkürzt, daß zwei Drittel derselben schwingen, so giebt sie die Quinte zu dem Grundton, den die ganze Saite angiebt; ein Drittel der Saitenlänge hat eine dreimal so große, zwei Drittel eine $^{3}/_{2}$ Mal so große Schwingungszahl. Wie daher in der folgenden Uebersicht die obere Zahlenreihe nach §. 281 die Schwingungszahlen angiebt, so enthält die darunter stehende die schwingenden Saitenlängen, welche die umgekehrten Brüche der Schwingungszahlen sind.

	C	D	E	F	G	A	H	c
Schwingungszahlen . . .	1	$^{9}/_{8}$	$^{5}/_{4}$	$^{4}/_{3}$	$^{3}/_{2}$	$^{5}/_{3}$	$^{15}/_{8}$	2.
Saitenlängen	1	$^{8}/_{9}$	$^{4}/_{5}$	$^{3}/_{4}$	$^{2}/_{3}$	$^{3}/_{5}$	$^{8}/_{15}$	$^{1}/_{2}$

§. 285. Die Flächeninstrumente.

Während es an den Saiteninstrumenten schwingende Linien sind, welche den Ton erregen, dienen bei einer zweiten Art von Tonwerkzeugen zur Hervorbringung des Tons Flächen, die durch Anschlag in Schwingungen versetzt werden. Als **Flächeninstrumente** sind zu nennen: Trommel und Pauke; Becken und Glocken.

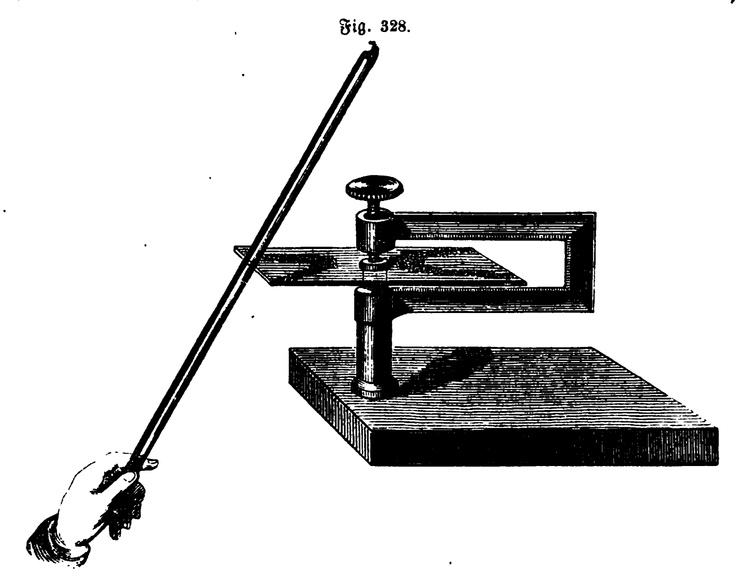
Die Membrane, das gespannte Thierfell, mit dem die ersten dieser Instrumente bezogen sind, theilt sich beim Schwingen in mehrere Theile und bewegt sich in Transversalschwingungen. Von zwei zusammengehörenden Pauken giebt die kleinere, wie eine kürzere Saite, den höheren Ton, und zwar c, wenn die größere G hören läßt; das Stimmen geschieht durch geringeres oder stärkeres Anspannen. Die Trommel zeigt eine mehrfache Anwendung von dem Mittönen elastischer Körper; sie besteht aus zwei Pergamentflächen, die über einen offenen Messingcylinder gespannt sind; wird die obere, das Schlagfell, zu Schwingungen genöthigt, so erklingt zugleich die untere Membrane, das Schallfell, und eine starke Saite, die quer über dasselbe gespannt ist. Soll die Trommel gedämpft werden, so wird durch Bewickeln der Saite mit einem Tuch das Mitschwingen der Saite und des Schallfells gehindert.

Aehnlich schwingen Platten und Glocken.

Versuch a. Man verschaffe sich eine Platte von gewöhnlichem Fensterglas, 10 Cm. lang und ebenso breit, und nehme ihr an einer Seite mit einer Feile die scharfen Kanten. Die Platte wird wagerecht gehalten, indem man sie in der Mitte zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand anfaßt oder in eine Klemme einschraubt; sie wird mit trocknem Sand bestreut und zuerst an einer glatten Stelle nahe der einen Ecke mit einem Violinbogen gestrichen. Der Bogen muß stark mit Colophonium bestrichen sein, und die Platte einen reinen Ton geben. Der Sand wird von den schwingenden Stellen weggeworfen und sammelt sich an den ruhenden Stellen; es entsteht die Figur eines aufrechten Kreuzes. Die Platte schwingt daher nicht als ein Ganzes, sondern theilt sich in mehrere schwingende Theile. Streicht man die Mitte einer ihrer Seiten an, so

giebt die Platte einen andern Ton, und der Sand sammelt sich zu der Figur eines liegenden Kreuzes. Andere Figuren entstehen, wenn die Platte in einem Punkt leise berührt und in einem andern gestrichen wird. Sie heißen nach ihrem Entdecker Chladnische Klangfiguren. Chladni wurde 1756 zu Wittenberg geboren; er studirte die Rechte, dann Musik und Naturwissenschaften; nach dem Tode seines Vaters widmete er

Fig. 328.



sich ganz der Akustik (der Lehre vom Schall). Mit zwei von ihm erfundenen musikalischen Instrumenten durchreiste er eine Reihe von Jahren hindurch Deutschland, Italien und Frankreich und erwarb sich, indem er in den Städten Vorstellungen gab, ein nicht unbedeutendes Vermögen. Die von ihm entdeckten Klangfiguren beschrieb er im J. 1787. Er starb zu Breslau 1827.

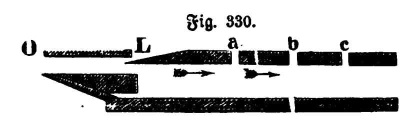
Versuch b. Auch Glocken schwingen nie als ein Ganzes, sondern in Abtheilungen. Man nimmt ein gewöhnliches, glockenförmiges Weinglas, füllt es über die Hälfte mit Wasser und streicht den Rand mit einem stark beharzten Violinbogen. Das Glas muß bei richtigem Streichen einen vollen, reinen Ton geben. Dabei beobachtet man in dem Wasser meistens vier Ruhestellen und zwischen ihnen niedliche Wasserwellen, die noch deutlicher hervortreten, wenn man Bärlappsamen (§. 186) auf die Wasseroberfläche streut. Die Theilung des Wassers in Abtheilungen von Wellen ist ein Zeugniß von der Theilung des glockenförmigen Glases in schwingende Abtheilungen.

Fig. 329.

§. 286. Die Blaseinstrumente.

Versuch a. Eine kleine hölzerne Pfeife, wie sie als Spielzeug der Kinder bekannt ist, hat nahe dem einen Ende einen größeren Einschnitt und außer diesem mehrere Grifflöcher, die zum Greifen mit den Fingern bestimmt sind. Bei dem ersten dieser Grifflöcher a säge man die Pfeife quer durch und behalte zu den folgenden Versuchen das Stück Oa, welches beim Pfeifen in den Mund genommen wird.

Fig. 330.



Das Ende a passe man, indem man es mit einem benetzten Papierstreifen umwickelt, in eine Glasröhre (Chlorcalciumröhre). Bläst man bei O nicht zu stark mit dem Munde, so wird man in den meisten Fällen einen vollen Pfeifenton erhalten.

Berührt man die Glasröhre mit der Hand, während man den Ton erregt, so verhält sie sich nicht, wie ein schwingender Körper; weder sind an der Pfeifenröhre Schwingungen fühlbar, wie an einer tönenden Saite oder Fläche, noch werden die Tonschwingungen durch Anfassen gehemmt, wie es doch geschehen müßte, wenn die Röhre selber sich bewegte. Ferner nimmt man zu Orgelpfeifen einen wenig elastischen Stoff, das Zinn, das nicht so schneller Schwingungen fähig ist. Endlich ist nur der Klang, aber nicht die Höhe des Tones abhängig von dem Stoff, aus dem die Pfeifen gearbeitet sind; tönten die Wände der Pfeife selbst, so müßten dicke Wände, gleich dicken Saiten, einen tieferen Ton geben. Dies ist aber nicht der Fall, wie der folgende Versuch zeigt.

Versuch b. Man nehme einen halben Bogen glattes Papier und rolle ihn zu einer Röhre, um die man einen Faden bindet; sie habe die Länge der zuvor gebrauchten Glasröhre, und das hölzerne Pfeifenstück werde anschließend eingeschoben. Beim Anblasen wird man denselben Ton erhalten, wie mit der Glasröhre.

In der Pfeifenröhre ist aber nichts Anderes, als atmosphärische Luft, und es kommt beim Blasen auch nichts Anderes hinein. In jedem Blaseinstrument ist eine Luftsäule der schwingende Körper. Wenn man in eine größere tönende Pfeife eine über einen Rahmen gespannte Membrane bringt und an drei Fäden wagerecht schwebend hält, ohne daß sie die Pfeife selbst berührt, so kommt die Membrane und darauf gestreuter Sand durch die Luft in schwingende Bewegung.

Versuch c. Statt des halben Bogens nehme man ein Quartblatt, rolle es zu einer Röhre und passe darein das Stück der hölzernen Pfeife. Dadurch entsteht eine kürzere Pfeife, und der Ton wird höher. Somit hängt die Höhe ihres Tons vor Allem von der Länge der Pfeife ab, wogegen ihre Weite nur auf den Klang, die Färbung des Tons, Einfluß hat.

Versuch d. Nachdem man die Glasröhre wieder aufgesetzt hat, blase man zuerst schwach, dann stärker und noch stärker. Dadurch wird

die Luftsäule schneller bewegt und erlangt eine größere Schwingungszahl. Man wird außer dem gewöhnlichen Ton noch zwei Töne hervorbringen, die desto höher sind, je stärker geblasen wird. Die Tonhöhe einer Pfeife hängt daher zweitens von der Stärke des Anblasens ab; bei derselben Stärke des Anblasens giebt sie wieder denselben Ton.

Versuch e. Während des Blasens bedecke man die freie Oeffnung der Pfeife theilweise mit einem Finger. Man vernimmt einen tieferen Ton, als die offene Röhre bei mäßigem Anblasen gab. Das theilweise Schließen eines Blaseinstrumentes an seinem Ende, um tiefere Töne zu erzielen, heißt das Stopfen desselben. — Unter den Orgelpfeifen sind solche, deren oberes Ende ganz verschlossen ist; sie heißen gedeckte Pfeifen und geben einen um eine Octave tieferen Ton, als ebenso lange offene Pfeifen.

Durch welches Mittel wird eine Luftsäule in der gewöhnlichen Pfeife, die fast nur noch als Signalpfeife in Gebrauch ist, und in den Lippenpfeifen der Orgel (Fig. 331) in Tonschwingungen versetzt? Bei der Signalpfeife (Fig. 330) wird an dem einen Ende O mit dem Munde ein Luftstrom eingeblasen, trifft bei dem Einschnitt, dem Mundloch, auf einen geschärften Körper L, welcher die obere Lippe heißt, während der ihr gegenüber stehende Rand des Mundloches die untere Lippe genannt wird. An der oberen Lippe wird der Luftstrom gespalten, und nur eine schmale Strömung bewegt sich unterbrochen und stoßweise nahe der oberen Wand. Dasselbe geschieht in den Orgelpfeifen; die Luft tritt bei O ein, spaltet sich bei der Oberlippe L und durchzieht die Pfeife nahe der Vorderwand. Der stoßweise hineingeblasene schmale Luftstrom reibt sich an der Luftsäule der Pfeife, wie der Bogen an der Saite, jedoch der Länge nach; er reißt die Luftsäule nach oben (Fig. 331 I) und verdichtet sie unterhalb des oberen Bodens; durch diese Verdichtung gewinnt die Luft an Spannkraft, breitet sich, hinabsteigend, wieder aus und verdünnt sich; sie wird wieder durch das Anblasen verdichtet und schwingt so der Länge nach auf und nieder. Die Luftschwingungen sind Längenschwingungen oder Longitudinalschwingungen. Während in einer gedeckten Pfeife die Luftsäule als ein Ganzes sich bewegt, theilt sie sich in offenen Pfeifen in zwei Theile, einen oberen und einen unteren, zwischen denen eine Ruhestelle liegt.

Fig. 331.

I II L L O O

Ein schmaler Luftstrom wird durch die scharfe Oberlippe an dem Mundloch des Instruments hervorgebracht; schnell auf einander folgende Verdichtungen und Verdünnungen der Luft können, wie an der Sirene (§. 280), ebenfalls einen Ton hervorrufen und lassen sich durch die menschlichen Lippen mit Hülfe eines Mundstücks oder durch eine elastische Zunge erregen. Danach giebt es drei Gruppen von Blaseinstrumenten.

Erste Gruppe, Blaseinstrumente mit einem Mundloch: Flöte, Signalpfeife und die Lippenpfeifen der Orgel.

Zweite Gruppe, Blaseinstrumente mit einem Kesselmundstück: Waldhorn, Trompete, Posaune.

Dritte Gruppe, Blaseinstrumente mit einer elastischen Zunge: Clarinette, Oboe, Fagott und die Zungenpfeifen der Orgel.

Erste Gruppe. Die Flöte hat keine Lippen, sondern ein Mundloch mit scharfen Rändern, an denen sich die aus dem Munde des Bläsers kommende Luft spaltet; sie giebt den tiefsten Ton, wenn alle Grifflöcher verschlossen sind, den höchsten, wenn die dem Mundloche nächste Oeffnung offen ist; jedesmal reicht die schwingende Luftsäule bis zum ersten offenen Griffloche. Um das Instrument tiefer zu stimmen, wird ein längeres Mittelstück eingesetzt.

Die Instrumente der zweiten Gruppe haben ein nach außen kesselförmig sich erweiterndes Mundstück; gegen dasselbe legen sich die Lippen des Musikers, erlangen eine größere Elasticität und gerathen in Schwingungen, bei denen verdichtete und verdünnte Luftmengen in das Instrument eintreten. Durch die Erweiterung an dem anderen Ende, die sogenannte Schallstürze, wird der Klang ein stärkerer. Die Windungen haben den Zweck, die tönende Luftsäule länger zu machen, ohne dem Instrument eine unbequeme Größe zu geben. Die verschiedenen Töne werden auf zwei Arten hervorgerufen, durch die verschiedene Stärke des Anblasens und durch das Stopfen, durch Einbringen der Hand in die Schallstürze, das vornehmlich beim Waldhorn in Anwendung kommt; in der Posaune läßt sich zudem durch Ausziehen oder Einschieben der Stangen die Luftsäule verlängern oder verkürzen.

Die Instrumente der dritten Gruppe enthalten ein elastisches Plättchen von Metall oder Rohr, die Zunge, die durch Anblasen zum Tönen gebracht wird. In den Zungenpfeifen der Orgel, wie in der einige Aehnlichkeit damit habenden Mundharmonika und den kleinen Trompeten, die als Spielwerk für Kinder dienen, geräth die metallene Zunge beim Anblasen in Schwingungen und schließt und öffnet dabei abwechselnd eine Oeffnung; dadurch werden in der Luftsäule, deren Länge zu dem Ton der Zunge passen muß, abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen hervorgebracht. Bei der Clarinette ist die Zunge von Rohr und mit ihrem einen Ende an ein keilförmiges Mundstück gebunden; bei der Oboe und dem Fagott liegen zwei Zungen, geformt, wie Hälften eines von oben nach unten durchgeschnittenen Kegels, mit den ausgehöhlten Seiten neben einander und werden beim Spielen der Instrumente von der Mundhöhle umschlossen. An ihnen sind die Zungen weniger befestigt, als bei den Zungenpfeifen der Orgel, und haben daher keinen bestimmten Ton. Je stärkeren Druck die Lippen des Musikers gegen die Zungen üben, desto kürzer wird das frei bewegliche Stück der Zungen, und desto enger der Raum, durch den sich der eingeblasene Luftstrom drängen muß, er bewegt sich daher mit größerer Geschwindigkeit und bringt einen höheren Ton hervor.

Das Stimmorgan des Menschen hat große Aehnlichkeit mit einer Zungenpfeife; seine wichtigsten Theile sind die Luftröhre, der Kehlkopf und die Stimmbänder. Der Kehlkopf ist der obere, bewegliche Theil der Luftröhre; in demselben befinden sich neben einander zwei elastische Gewebe, die Stimmbänder, welche beim Athmen sich hinlänglich von einander entfernen, um die Luft ungehindert durchzulassen. Werden aber die Stimmbänder stärker gespannt und einander genähert, so gerathen sie beim Hindurchdringen der Luft in schwingende Bewegung und theilen diese der im Kehlkopf und in der Mundhöhle eingeschlossenen Luft mit. Die Höhe des Tons hängt von der Spannung und Größe der Stimmbänder ab; zu bestimmten Sprachlauten werden die Töne aber erst durch die mannichfachen Bewegungen der Zunge, Zähne und Lippen ausgebildet.

§. 287. Der Klang.

1. **Klang und Klangfarbe.** Eine Saite oder eine Luftsäule kann als ein Ganzes schwingen und giebt dann ihren Grundton. Der tönende Körper kann sich aber auch nach §. 282 in 2, 3, 4, 5 und mehr gleiche Theile theilen; theilt sich eine Saite in zwei gleiche Theile, so hat jeder derselben dieselbe Schwingungszahl, wie eine halb so lange Saite; die Schwingungszahl ist beim Schwingen in zwei gleichen Theilen das Doppelte von der Schwingungszahl der ungetheilten Saite. Bei einer Theilung in drei gleiche Theile ist die Schwingungszahl jedes Theils das Dreifache von der Schwingungszahl der ungetheilten Saite oder des Grundtons. Es entstehen Töne, deren Schwingungszahlen genau 2, 3, 4, 5 Mal so groß sind, als die Schwingungszahl des Grundtons. Diese Töne, deren Schwingungszahlen ein genaues Vielfaches von der Schwingungszahl des Grundtons sind, werden Theil- oder Obertöne genannt; die einzelnen werden so bezeichnet, daß der Grundton als der erste Ton, der Oberton mit zweifacher Schwingungszahl als der zweite Theilton, der mit dreifacher Schwingungszahl als der dritte Theil- oder Oberton gilt. Folgendes sind die ersten 16 Theiltöne für das große C:



Die tieferen Töne dieser Reihe liegen weiter auseinander, und die sechs ersten sind harmonisch und bilden, wenn sie zusammen angeschlagen werden, Consonanzen. Die höheren Obertöne dagegen liegen einander

näher und bilden mit einander Dissonanzen; der siebente und der elfte stimmen nicht genau mit den angegebenen Bezeichnungen.

Die meisten tönenden Körper schwingen gleichzeitig als Ganzes und in einzelnen Theilen; sie erregen *neben dem stärkeren Grundton* eine *Anzahl Obertöne.*

Versuch. Ein geübtes Ohr hört, wenn auf dem Clavier C angeschlagen wird und auf allen übrigen Saiten der Dämpfer ruht, den dritten und den fünften Oberton g und $\bar{e}$ außer dem Grundton; noch deutlicher wird die Beobachtung, wenn man zuerst auf kurze Zeit einen dieser Obertöne ertönen läßt und dann den Grundton anschlägt.

Am deutlichsten aber vernimmt man die Obertöne mittels der (von *Helmholtz* angegebenen) *Resonanzkugeln oder Resonatoren*; die Resonanzkugeln sind hohle Kugeln aus Glas oder Metall, ihr Durchmesser beträgt 10 bis 70 Cm.; sie haben zwei Oeffnungen, eine weitere von 13 bis 45 Mm. Durchmesser und eine engere, die in das Ohr eingesetzt wird. Die Luftmasse in einem solchen Resonator geräth nur bei einem bestimmten Ton in Schwingungen, den man den *Eigenton* des Resonators nennt; man bedarf daher einer größeren Anzahl von Resonatoren. Setzt man einen Resonator dicht anschließend an das eine Ohr, während das andere gut verstopft ist, so hört man aus einem Gesang oder Gespräch jeden Ton auffallend stark, welcher mit dem Eigenton der Kugel gleiche Höhe hat, während die übrigen schwächer, als sonst erscheinen. Hält man, um die Obertöne einer Pianinosaite zu untersuchen, den Resonator für das eingestrichene $\bar{c}$ ans Ohr, und schlägt man das große C an, so hört man das $\bar{c}$ sehr deutlich. Mit Hülfe der Resonatoren für andere Töne beobachtet man, welche der übrigen Obertöne dieselbe Saite hören läßt. Durch diese Versuche ist die Wahrheit festgestellt, *daß die Töne der meisten musikalischen Instrumente keine einfachen Töne,* sondern *daß ihre Klänge aus mehreren Tönen zusammengesetzt* sind. **Ein Klang** ist zusammengesetzt aus dem Grundton und den mit ihm gleichzeitig hörbaren Obertönen.

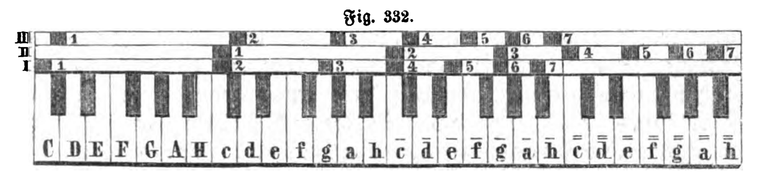
Die Höhe, Stärke und Anzahl der Obertöne ist bei den verschiedenen Instrumenten verschieden; sie bestimmen **die Klangfarbe** des *Instruments.* Bei einem guten Pianino sind die unteren Obertöne bis zum sechsten recht kräftig, während der siebente und neunte fehlen müssen. Bei einem *Streichinstrument* ist der Grundton stärker, als beim Pianino, die unteren Obertöne sehr schwach, die dagegen vom sechsten bis zum zehnten, wenn auch schwach, doch deutlicher. *Glocken* haben unharmonische Obertöne; die *menschliche Stimme* hat für jeden Vocal andere Obertöne. Enge offene *Pfeifen* haben eine Reihe von Obertönen, durch die der Klang dem der Geige ähnlich wird. Schwach angeblasene weite gedeckte Pfeifen und *Stimmgabeln* vor Resonanzröhren sind frei von Obertönen und geben einfache Töne. Solche Töne sind weich und angenehm, aber schwach oder dumpf und von geringer musikalischer Wirkung; den größten Effect dagegen machen die *Blechinstrumente,* die durch die verhältnißmäßig stärkeren *hohen* Obertöne eine schreiende Klangfarbe

erhalten. Zu einer guten Klangfarbe wird erfordert, daß mehrere ziemlich kräftige, niedrige Obertöne vorkommen, daß die höheren Obertöne vom sechsten an gar nicht oder nur schwach zu vernehmen sind, und daß der Grundton alle an Stärke überwiegt.

2. **Die Verwandtschaft der Klänge.** Jeder musikalische Klang ist daher als ein Ganzes anzusehen, das aus einer Anzahl von Theiltönen zusammengesetzt ist. Ertönen nun zwei Klänge nach einander, so sind entweder die Theiltöne des einen sämmtlich verschieden von denen des andern, oder einzelne Theiltöne des einen Klanges stimmen mit denen des anderen überein. Haben die beiden Klänge keinen gemeinsamen Theilton, so hört man sogleich, daß sie einander fremd sind. Klänge dagegen, die gemeinsame Theiltöne enthalten, sind einander verwandt; der eine Klang wiederholt einen Theil dessen, was man in dem andern hört; das Ohr empfindet bei beiden zum Theil dasselbe und hört das Vorhandensein gemeinsamer Bestandtheile heraus.

Veranschaulichung. Um sich die Sache deutlich zu machen, zeichne man sich eine Claviatur, deren Tasten oben (nach I zu) alle gleiche Breite haben. Sodann nehme man drei gleiche Stäbe I, II und III und bezeichne auf ihnen durch Quadrate die Lage der Theiltöne 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7. Der Stab I werde so oben an die Claviatur gelegt, daß das Quadrat 1 über C liegt; dann geben die Quadrate dieses Stabes

Fig. 332.



die Theiltöne des Klanges C an. Der zweite Stab II werde so gelegt, daß das Quadrat 1 oben über der Octave c des Gundtons C liegt; dann geben die Quadrate des zweiten Stabes die Theiltöne der Octave an. Man sieht, daß der erste, zweite und dritte Theilton der Octave beziehungsweise mit dem zweiten, vierten und sechsten Theilton des Grundtons zusammenfallen; Grundton und Octave sind daher verwandte Klänge, weil sie drei Theiltöne gemein haben. Verschiebt man dagegen einen Stab III so, daß sein erstes Quadrat über Cis zu liegen kommt, und die Quadrate für diesen Klang die Theiltöne angeben, so zeigt sich, daß kein Theilton von Cis mit einem Theilton von C zusammenfällt; C und Cis sind daher keine verwandten Klänge.

3. **Consonanz und Dissonanz.**

Versuch. Wenn man von zwei gleichen Stimmgabeln die eine dadurch tiefer stimmt, daß man über ihre Zinken zwei gleiche Stückchen Kork schiebt, beide Gabeln auf einen Resonanzboden stemmt und gleichzeitig tönen läßt, so nimmt man ein regelmäßiges Stärker- und Schwächerwerden des Zusammenklanges wahr. Dies regelmäßig wiederkehrende Schwanken der Tonstärke bei zwei gleichzeitig hörbaren, wenig von ein-

ander verschiedenen Tönen heißt das Schweben der Töne. Jede einzeln
Verstärkung des Zusammenklangs wird ein Stoß oder eine Schwebun
genannt. Um diese Stöße zu erklären, denken wir uns zwei Pendel, vo
denen eins 60 und das andere 59 hörbare Schwingungen in der Sekund
macht; beginnen sie ihre Bewegung gleichzeitig, so hört man zuerst einen
Schlag von doppelter Stärke, darauf weichen die Schläge beider
Pendel immer mehr von einander ab, sind in der Mitte der Sekunde a
schwächsten zu hören und bringen erst am Anfang der nächsten Sekun
durch ihr Zusammentreffen einen starken Schlag hervor. Auf diese Wei
erfolgt, wenn der Unterschied der Schwingungszahlen 1 beträgt, in jeder
Sekunde ein Stoß. Macht das eine Pendel 60, das andere 58 hörba
Schwingungen, so trifft nicht bloß der erste Schlag beider zusamme
sondern auch der dreißigste des ersten Pendels und der neunundzwanzigs
des andern; beträgt der Unterschied der Schwingungszahlen 2, so erfolge
zwei Stöße in der Sekunde. Ueberhaupt ist die Anzahl der Stöß
in der Sekunde gleich dem Unterschiede der Schwingungszahle

Dies gilt auch von den Stößen oder Schwebungen, welche durc
tönende Körper hervorgebracht werden. Wie für das Auge das Flacke
einer Flamme, so sind für das Ohr die Schwebungen unangenehm
wenn 30—40 Schwebungen in der Sekunde erfolgen. Schnellere Schw
bungen sind weniger laut und weniger unangenehm. Zwei Töne, die
einen halben Ton verschieden sind, geben unangenehme Schwebungen
darum eine Dissonanz. Aber nicht bloß die angeschlagenen Gr
töne zweier Klänge, sondern auch ihre Obertöne können unangene
Schwebungen hervorbringen, so daß diese Ursache einer Dissonanz werde
Zwei Klänge geben daher eine Dissonanz, wenn ihre Theiltö
30 bis 40 Schwebungen in einer Sekunde hervorbringen. Ein
Consonanz ist ein Zusammenklang ohne merkliche Schwebungen

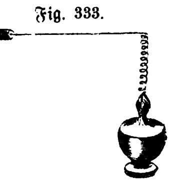
Das Licht.

§. 288. Leuchtende Körper.

Die meisten Körper sind an sich dunkel und vermögen nicht, den sie umgebenden Raum zu erhellen. Dagegen giebt es auch Körper, die von selbst leuchten, von denen, wie von einer Quelle, Licht ausgeht und in unser Auge gelangt. Zu diesen Lichtquellen oder selbstleuchtenden Körpern gehören: 1) **die Sonne und die Fixsterne.** Der Kern der Sonne ist ein glühender, entweder fester oder flüssiger Körper, und die Sonnenatmosphäre, welche den Kern umgiebt, besteht aus brennenden luftförmigen Stoffen. Es ist weißes Licht, das die Sonne in den Weltraum aussendet. Auch die meisten Fixsterne leuchten in weißem Lichte, und es ist nur eine geringere Anzahl derselben, die in rothem oder gelbem Lichte erscheint. 2) **Glühende und verbrennende Körper,** wie bei unseren Kerzen- und Lampenflammen, §. 252.

Versuch a. Die Flamme einer Spirituslampe verbreitet so wenig Licht, daß sie im Sonnenschein kaum wahrgenommen werden kann. Man nehme aber einen dünnen Draht, eine Claviersaite, winde sie schraubenförmig um einen Bleistift, ziehe diesen aus den Windungen heraus und halte den Draht in die Flamme der Spirituslampe. Er wird glühend werden, und die Flamme wird hell leuchten. Eine Flamme wird also dadurch leuchtend, daß sich in ihr glühende Körper befinden.

Fig. 333.



Es ist fein zertheilte Kohle, die in den meisten Flammen glüht und sie leuchtend macht (§. 252 und §. 254 b); wird sie nur bis zur Rothglühhitze erwärmt, so hat die Flamme ein trübes, röthliches Licht; dagegen ist ihr Licht hell und weiß, wenn die Kohle bis zur Weißglühhitze erwärmt wird.

Ein sehr helles Flammenlicht ist das nach seinem Erfinder benannte Drummond'sche Kalklicht oder Siderallicht; durch die außerordentliche Hitze einer Flamme von Wasserstoff und Sauerstoff, die man aus zwei gesonderten Behältern zusammenströmen läßt, wird ein Kalkstückchen in Weißglühhitze versetzt und strahlt mit einem Glanz, den das Auge in der Nähe nicht zu ertragen vermag; das Siderallicht wird zu Signalen

und auf Leuchtthürmen angewandt. Auffallend hell leuchtet auch ver- brennender Magnesiumdraht. 3) **Elektrisirte Körper** geben hell leuchtende Funken, und vom galvanischen Strom durchflossene Kohlenstücke geben das elektrische Kohlenlicht, welches jedes andere künstliche Licht, auch das Siderallicht, überstrahlt (§. 208). 4) Eine vierte Klasse von leuchtenden Körpern bilden die **phosphorescirenden Stoffe.**

Versuch b. Wenn man im Dunkeln ein Streichhölzchen langsam un- unter geringem Druck auf der Hand streicht, so leuchtet das Hölzchen u der gestrichene Theil der Hand; zugleich sieht man einen weißen Rau aufsteigen. Ein Theil des in der Zündmasse des Streichhölzchens befindlich Phosphors verbrennt dabei äußerst langsam und ohne fühlbare Wärm

Solche Körper, welche, wie der Phosphor, ohne bemerkbare Wärm zunahme im Finstern einen schwachen Lichtschimmer verbreiten, nennt man phosphorescirende Stoffe. Die Erscheinung der Phosphoresce wird bei langsamer Verbrennung, an leuchtenden Thieren, beim Reib und nach dem Sonnen und Glühen wahrgenommen. Faulende Thier und Pflanzenstoffe, wie faules weißes Holz, schimmern in der Nacht weil sie in einer langsamen Verbrennung begriffen sind.

Leuchtende Thiere sind es, durch welche das Leuchten des Meere hervorgebracht wird. In warmen, feuchten und windstillen Nächten leuc das Meer, wo es von einem Schiff durchschnitten wird, und hinter de Schiffe zeigt sich ein breiter glänzender Streifen, aus welchem Stern Kugeln, Bänder und Funken heller hervorleuchten. Auch wenn in heißen Zone nach anhaltender Windstille in der Nacht eine Luftström beginnt, pflegen an der sich kräuselnden Oberfläche des Meeres zahll leuchtende Punkte zu erscheinen, die bei rascherem Wellenschlag zusamme fließen und sich zu einem Feuermeer vereinigen. Die Untersuchungen hab gelehrt, daß zahllose Mollusken und Infusionsthierchen, die unt dem Namen der Seeleuchte zusammengefaßt werden, Ursache dieser Er scheinungen sind; die Thierchen kommen in der Regel nur bei ruhige Wetter an die Oberfläche des Meeres empor und leuchten, sobald sie s bewegen oder bewegt werden. — Auch auf dem Lande verbreiten leuchten Thiere in der Nacht ein phosphorartiges Licht. Unser Johannis würmchen glänzt mit schwefelgelbem Lichte; man sieht es in den Näch der ersten warmen Monate, schon vom Anfang des Mai an, auf de Wiesen leuchten und kann es, wenn man es bei Tage fängt, leicht Papier oder einer Schachtel bis zum Eintritt der Dunkelheit aufbewahr und dann sein Leuchten beobachten. Der Cucujo, ein Leuchtkäfer, der si in Westindien und Südamerika findet, ungefähr 2,5 Cm. lang und v dunkelbrauner Farbe, hat auf jeder Seite des Brustschildes einen erhaben gelben Fleck, der des Nachts so stark leuchtet, daß man lesen kann, wenn der Käfer sich über dem Papier befindet, weshalb man ihn auf Reis sogar als Leuchte anwendet.

Versuch c. Man reibe im Finstern zwei Stückchen Zucker aneinander dabei wird man einen lebhaften gelben Lichtschein wahrnehmen. Aehnlic Erscheinungen zeigen alle kieselartigen Steine.

Versuch d. Etliche Stückchen wasserfreien Chlorcalciums werden in einem verkorkten Glase längere Zeit dem hellen Sonnenlichte ausgesetzt, darauf das Glas mehrfach in Papier gewickelt und in irgend einem dunklen Kasten aufbewahrt. Am dunklen Abend von der Umwickelung befreit, wird das Chlorcalcium in Folge des Sonnens mit schwachem Schimmer leuchten.

Auch Diamanten, kalkhaltige Mineralien, Eierschalen werden schwach leuchtend, wenn man sie eine Zeit lang dem Sonnenlichte aussetzt. Durch Sonnen und auch durch Glühen wird der Bononische Stein leuchtend, der durch die Weise, wie diese Eigenschaft an ihm entdeckt wurde, eine Art von Berühmtheit erlangt hat. Ein Schuhmacher zu Bologna fand auf einem Berge unweit der Stadt diesen aschgrau aussehenden schwefelsauren Schwerspath; sein Gewicht kam ihm sehr groß vor und brachte ihn auf den Gedanken, es möchte sich aus dem Steine Gold machen lassen. Er nahm ihn mit nach Hause und durchglühte ihn vergebens in dem Kohlenfeuer seines Kochofens; aber zu seinem nicht geringen Erstaunen glühte der Stein in dem Dunkel der Nacht noch fort, obwohl er ganz kalt geworden, und das Kohlenfeuer längst erloschen war.

Die Lehre vom Licht heißt die Optik.

§. 289. Nichtleuchtende Körper.

Die nichtleuchtenden Körper sind entweder durchsichtig oder durchscheinend oder undurchsichtig. Die durchsichtigen Körper gestatten dem Lichte den Durchgang, man kann durch sie die Gestalt und Farbe der uns Licht zusendenden Gegenstände deutlich erkennen; besonders durchsichtig sind dünnere Massen von Luft, Glas und Wasser. Undurchsichtige Körper, wie Metall, Holz, Steine, lassen gar kein Licht hindurch, wenn ihre Massen eine hinreichende Dicke haben. Die durchscheinenden Körper lassen einiges Licht, einen Lichtschein, hindurch, ohne daß man durch sie die Gestalt und Farbe der Gegenstände deutlich erkennen kann. Unter den durchscheinenden oder transparenten Körpern finden Papier und mattgeschliffenes Glas die häufigste Anwendung. Das Papier wird mit Oel getränkt und läßt sich dann zur Darstellung transparenter Bilder benutzen, die mit durchscheinenden Farben darauf gemalt sind, oder es ist sehr dünn und unter den Namen Seiden-, Stroh- oder Durchzeichenpapier käuflich.

Versuch. Will man, vielleicht für die camera obscura (§. 332), eine kleine Glasscheibe matt schleifen, so verschaffe man sich aus der Apotheke für 10 Pfennig feines Smirgelpulver, lege eine andere Glasscheibe auf den Tisch, streue von dem Smirgel darauf und benetze ihn mit Wasser. Die mattzuschleifende Scheibe legt man darauf und bewegt sie mit der Hand unter nicht zu starkem Drucke stets in derselben Richtung hin und her. Die Scheibe ist nachher nicht mehr durchsichtig, sondern läßt, wie alle durchscheinenden Stoffe, nur solche Gegenstände erkennen, die sich dicht hinter oder unter ihr befinden; man bringt deshalb, wenn bei einem Versuch ein in der Luft schwebendes Bild sich deutlicher erkennen lassen

soll, Seidenpapier oder mattgeschliffenes Glas dicht vor der Stelle an, wo das Bild erscheinen muß. — Gute Dienste leistet auch eine gewöhnliche Glasscheibe, wenn man sie erwärmt, etwas von einem Stearinlicht darauf verreibt, ein Stück Briefpapier darauf legt und auch dies mit flüssigem Stearin durchscheinend macht.

Die geradlinige Verbreitung des Lichts.

§. 290. Der geradlinige Weg des Lichts.

Versuch. Man zerschneide einen Kork in drei runde Scheiben und stecke in den Mittelpunkt einer jeden lothrecht eine Stecknadel ein. Das eine Auge des Beobachters möge, während er das andere geschlossen hält, sich dicht über dem Knopf der einen Nadel befinden und nach der zweiten Nadel sehen, die mit ihrem kleinen Fußgestell an dem andern Ende des Tisches aufgestellt sein mag. Offenbar gelangt von der entfernten Nadel Licht in das Auge, sonst würde sie nicht sichtbar sein. Schiebt man nun die dritte Nadel zwischen die zweite und erste, so wird sich für sie leicht eine Stellung finden, in der sie das von der entfernteren Nadel kommende Licht hindert, ins Auge zu gelangen, und dieselbe für das Auge verdeckt. Untersucht man mittels eines gespannten Fadens die Stellung der drei Nadeln, so wird sich ergeben, daß sie in einer geraden Linie stehen. Schiebt man die mittlere Nadel dem Auge näher oder ferner, so daß sie immer wieder dem von der entfernten Nadel kommenden Lichte den Weg versperrt, so wird sie sich stets in einem Punkte derselben geraden Linie befinden. Folglich gelangt das Licht zum Auge, indem es alle Punkte der geraden Linie durchläuft; der Weg des Lichts ist eine gerade Linie.

Stets wird ein leuchtender Körper verdeckt, wenn sich in gerader Linie zwischen ihm und dem Auge ein undurchsichtiger Gegenstand befindet. Fällt durch eine kleine Oeffnung Sonnenlicht in ein stauberfülltes oder dunkles Zimmer, so sehen wir den geraden Weg, den es zurücklegt. Eine gerade Linie, in welcher sich das Licht verbreitet, heißt ein Lichtstrahl. Durch ein gekrümmtes Rohr können wir nichts sehen, weil das Licht sich nicht hindurchbewegt. Da ein leuchtender Körper nach allen Seiten Licht aussendet und sichtbar ist, gilt das

> **Gesetz:** Das Licht verbreitet sich von einem leuchtenden Körper aus nach allen Seiten in geraden Linien.

Eine wichtige **Anwendung** von der geradlinigen Verbreitung des Lichts wird beim Visiren gemacht, das in der Feldmeßkunst häufig vorkommt. Das Visiren kann mit dem Diopterlineal geschehen, einem Lineal, auf dessen Enden zwei kleinere Lineale senkrecht befestigt sind;

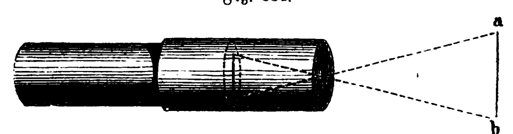
das eine, durch welches das Auge sieht, ist mit einem schmalen, senkrechten Einschnitt versehen, das andere mit einer breiteren Spalte, in deren Mitte lothrecht ein Pferdehaar ausgespannt ist. Richtet man das Diopterlineal auf einen entfernten Gegenstand, so liegt er mit der Diopterspalte und dem Haar in gerader Linie, sobald er dem Auge durch das Haar verdeckt wird. Beim Abstecken längerer gerader Linien auf dem Felde werden nicht allzuweit von einander zwei Stangen aufgestellt; jenseit der einen befindet sich das visirende Auge und schaut nach der anderen. Einem Gehülfen, der jenseit dieser zweiten Stange, in der Verlängerung der zwischen den beiden zuerst eingesteckten Stangen liegenden Linie, eine dritte Stange aufstellen soll, giebt man durch Zeichen zu verstehen, ob letztere dem Auge durch die zweite Stange verdeckt wird. Darauf begiebt man sich nahe an die zweite Stange und visirt nach der dritten hin; stets muß die folgende Stange durch die vorhergehende dem Auge verdeckt werden, wenn alle in einer geraden Linie stehen sollen.

§. 291. Die optische Kammer.

Daraus, daß die sichtbaren Gegenstände in geraden Linien Licht aussenden, erklärt sich die Erscheinung der optischen Kammer. Es wird ein Zimmer durch Schließen der Laden ganz verfinstert; nur in einem der Laden ist eine kleine Oeffnung angebracht. Durch dieselbe senden die vom Tageslicht getroffenen, davor befindlichen Gegenstände Lichtstrahlen ins Zimmer und bilden sich in umgekehrter Stellung darin ab.

Versuch. Um im Kleinen die Erscheinung der optischen Kammer darzustellen, fertige man sich zwei cylinderförmige oder viereckige Röhren aus Pappe, von denen sich, wie bei einem Fernrohr, die eine in die andere schieben läßt. Die weitere Röhre wird an dem einen Ende durch ein dünnes Stück Pappe verschlossen, und mitten durch dasselbe mit einer Nadel eine feine Oeffnung gebohrt. Die engere Röhre ist an dem dieser Oeffnung zugekehrten

Fig. 334.



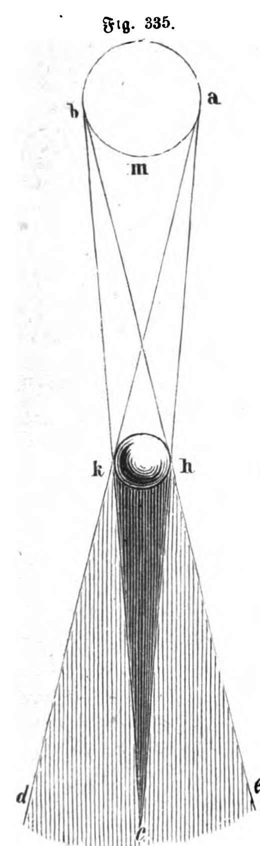
Ende nur durch durchscheinendes Seidenpapier verschlossen; ihr anderes Ende ist offen und muß vom Tageslichte abgewandt werden, während man hineinsieht. Stellt man in einiger Entfernung von der engen Oeffnung der Vorrichtung ein brennendes Licht auf, so gelangt von dem oberen Theile der Flamme ein Lichtstrahl durch die Oeffnung nach dem unteren Theile des Seidenpapiers, und umgekehrt von dem unteren Theile der Flamme nach der oberen Stelle des Papiers. Die Strahlen kreuzen sich in der Oeffnung, und weil alle Punkte der Flamme Lichtstrahlen aussenden, bildet sie sich ganz, aber umgekehrt auf dem Seidenpapier ab. Durch Verschieben der engeren Röhre bringt man sie in eine Stellung, bei der das Bild des Lichtes oder anderer, von der Sonne hinreichend hell beleuchteter Gegenstände nach Gestalt und Farbe

am deutlichsten erscheint. Da auch die von rechts und links kommenden Lichtstrahlen sich kreuzen, so wird die rechte Seite links abgebildet, und die Bilder sich bewegender Gegenstände bewegen sich in der entgegengesetzten Richtung. — Einfacher, aber auch unvollkommener läßt sich der Versuch mit einem Blatt von starkem Papier anstellen, in welches man eine feine Oeffnung gestochen hat; das brennende Licht steht davor und dahinter hält man zum Auffangen des Bildes ein Stück weißes Papier.

§. 292. Die Entstehung des Schattens.

Wenn man auf eine von der Sonne beschienene Fläche einen undurchsichtigen Körper, beispielsweise einen hölzernen Kasten, stellt, so werden die Sonnenstrahlen, weil ihnen der Durchgang nicht möglich, und der geradlinige Weg versperrt ist, nicht in den hinter ihm befindlichen Raum gelangen können; von ihm wird das Licht zurück gehalten, und er muß dunkel erscheinen. Den unbeleuchteten Raum hinter einem beleuchteten undurchsichtigen Körper nennen wir Schatten.

Fig. 335.



Versuch. Man halte eine Kugel in die Sonnenstrahlen und fange den Schatten mit einem lothrecht gehaltenen Papier nicht weit hinter der Kugel auf. Es zeigt sich in der Mitte des Schattens eine völlig dunkle Kreisfläche, der Kernschatten, welcher gar kein Licht empfängt; und ringsum entsteht ein weniger dunkler Schatten, der Halbschatten, der den Kernschatten umgebende Raum, der nur von wenigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfängt.

Von einer größeren leuchtenden Kugel mögen Strahlen auf eine kleinere Kugel fallen. Die äußersten Strahlen, die von den Rändern der großen Kugel ausgehen und an der kleineren vorbeistreifen, sind ac und bc; in den zwischen diesen Strahlen hinter der kleinen Kugel liegenden Raum dringt von dem leuchtenden Körper kein Lichtstrahl; dieser Raum ist der Kernschatten khc und hat eine kegelförmige Gestalt. Der Halbschatten liegt um den Kernschatten; von dem rechts befindlichen Rande a der leuchtenden Kugel geht noch ein Strahl ad an dem linken Rande der kleinen Kugel vorbei, und von dem linken Rande der größeren Kugel geht ein Strahl be an der rechten Seite der kleinen Kugel vorbei. Diese Strahlen sind die Grenzen des Halbschattens. Denn Lichtstrahlen, deren Richtung weiter aus einander geht, beleuchten

die dunkle Kugel nicht mehr, verursachen also auch keinen Schatten mehr. Der Halbschatten ist aber heller, weil der linke Rand der hellen Kugel in seinen rechten, und ihr rechter Rand in seinen linken Theil Lichtstrahlen sendet.

§. 293. Die Lage des Schattens.

Weil das Licht sich in einer geraden Linie bewegt, durch den schattenwerfenden Körper aber gehindert wird, zu allen Punkten dieser Linie zu gelangen, liegt der Schatten stets in gerader Linie mit dem leuchtenden und dem beleuchteten Körper auf der von dem Lichte abgewandten Seite. Bewegt sich daher einer der beiden Körper, so bewegt sich auch der Schatten, und zwar nach derselben Richtung, in der sich der dunkle Körper bewegt, in entgegengesetzter Richtung mit dem leuchtenden Körper, falls dieser seinen Ort verändert. Ersteres zeigt uns ein Bleistift, den wir im Sonnenlicht auf eine Papierfläche seinen Schatten werfen lassen und vor derselben hin und her bewegen; so schweben auch die Schatten von Wolken, welche der Sturm durch die Richtung der Sonnenstrahlen führt, nach derselben Seite über die Fluren hin. Wie aber der Schatten sich bewegt, wenn der leuchtende Körper seinen Ort ändert, beobachtet man mittels eines Lichtes, das man hin und her schiebt, während ein Bleistift auf ein Blatt Papier oder eine Wand seinen Schatten wirft. Während die Sonne am Himmel ihren Tagesbogen von Osten nach Westen beschreibt, fällt bei uns der Schatten eines Baumes oder eines lothrecht aufgestellten Stabes am Vormittag nach Westen, am Nachmittag nach Osten zu.

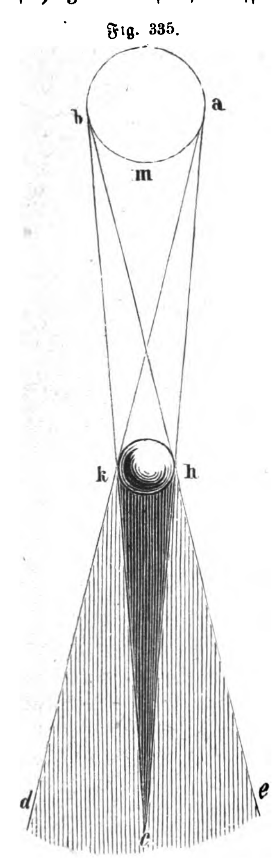
Eine Sonnenuhr. Wenn man im Mittelpunkt einer wagerechten Kreisscheibe einen Stift so befestigt, daß er lothrecht auf der Kreisfläche steht, und man nun am Rande derselben mit einer sich gleich bleibenden Geschwindigkeit eine Lichtflamme im Kreise herumführt, so wird der Schatten des Stiftes in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen und sich in jedem Augenblicke um einen eben so großen Kreisbogen weiter bewegen, wie in dem vorhergehenden Augenblicke. Dasselbe wird der Fall sein, wenn man die Kreisscheibe auf den Tisch legt und den auf den Tisch gestellten Leuchter gleichmäßig schnell um dieselbe herumschiebt; die kreisförmige Bahn der Flamme ist alsdann höher gelegen, als die Scheibe, aber mit ihr gleichlaufend. Hält man die Kreisscheibe schräg und läßt die Flamme an ihrem Rande oder parallel mit ihr einen Kreis um den Stift als Mittelpunkt durchlaufen, immer wird der Schatten des Stifts auf der Scheibe, wenn dieselbe der Bahn des leuchtenden Körpers parallel aufgestellt ist, bei gleichmäßiger Bewegung desselben in gleichen Zeiten gleich viel vorrücken. Es stelle in Fig. 336 der Kreis NOSW den Horizont vor, in dessen Mittelpunkte C der Beobachter steht, und in welchem N den Nordpunkt und S den Südpunkt, NS also die Mittagslinie bezeichnet. NPBSA sei am Himmel der Meridian für den Ort C. Dann hat die tägliche scheinbare Bahn der Sonne, ihr Tageskreis OBWA, eine gegen den Horizont geneigte Stellung, so daß der Winkel BCS oder

am deutlichsten erscheint. Da auch die von rechts und links kommenden Lichtstrahlen sich kreuzen, so wird die rechte Seite links abgebildet, und die Bilder sich bewegender Gegenstände bewegen sich in der entgegengesetzten Richtung. — Einfacher, aber auch unvollkommener läßt sich der Versuch mit einem Blatt von starkem Papier anstellen, in welches man eine feine Oeffnung gestochen hat; das brennende Licht steht davor und dahinter hält man zum Auffangen des Bildes ein Stück weißes Papier.

§. 292. Die Entstehung des Schattens.

Wenn man auf eine von der Sonne beschienene Fläche einen undurchsichtigen Körper, beispielsweise einen hölzernen Kasten, stellt, so werden die Sonnenstrahlen, weil ihnen der Durchgang nicht möglich, und der geradlinige Weg versperrt ist, nicht in den hinter ihm befindlichen Raum gelangen können; von ihm wird das Licht zurückgehalten, und er muß dunkel erscheinen. Den unbeleuchteten Raum hinter einem beleuchteten undurchsichtigen Körper nennen wir Schatten.

Fig. 335.



Versuch. Man halte eine Kugel in die Sonnenstrahlen und fange den Schatten mit einem lothrecht gehaltenen Papier nicht weit hinter der Kugel auf. Es zeigt sich in der Mitte des Schattens eine völlig dunkle Kreisfläche, der Kernschatten, welcher gar kein Licht empfängt; und ringsum entsteht ein weniger dunkler Schatten, der Halbschatten, der den Kernschatten umgebende Raum, der nur von wenigen Punkten des leuchtenden Körpers Licht empfängt.

Von einer größeren leuchtenden Kugel mögen Strahlen auf eine kleinere Kugel fallen. Die äußersten Strahlen, die von den Rändern der großen Kugel ausgehen und an der kleineren vorbeistreifen, sind ac und bc; in den zwischen diesen Strahlen hinter der kleinen Kugel liegenden Raum dringt von dem leuchtenden Körper kein Lichtstrahl; dieser Raum ist der Kernschatten khc und hat eine kegelförmige Gestalt. Der Halbschatten liegt um den Kernschatten; von dem rechts befindlichen Rande a der leuchtenden Kugel geht noch ein Strahl ad an dem linken Rande der kleinen Kugel vorbei, und von dem linken Rande der größeren Kugel geht ein Strahl be an der rechten Seite der kleinen Kugel vorbei. Diese Strahlen sind die Grenzen des Halbschattens. Denn Lichtstrahlen, deren Richtung weiter aus einander geht, beleuchten

die dunkle Kugel nicht mehr, verursachen also auch keinen Schatten mehr. Der Halbschatten ist aber heller, weil der linke Rand der hellen Kugel in seinen rechten, und ihr rechter Rand in seinen linken Theil Lichtstrahlen sendet.

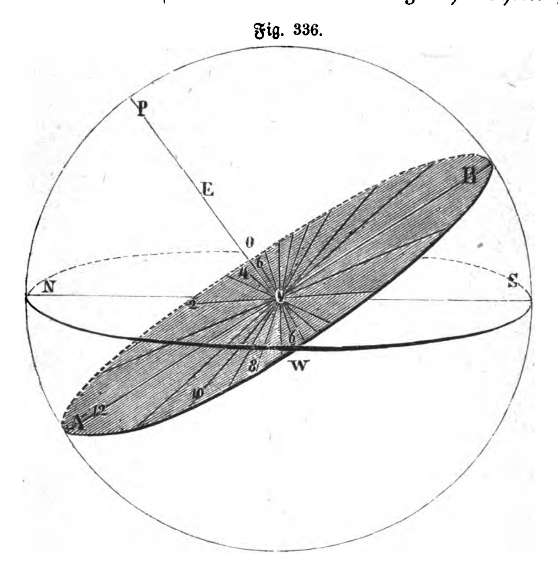
§. 293. Die Lage des Schattens.

Weil das Licht sich in einer geraden Linie bewegt, durch den schattenwerfenden Körper aber gehindert wird, zu allen Punkten dieser Linie zu gelangen, liegt der Schatten stets in gerader Linie mit dem leuchtenden und dem beleuchteten Körper auf der von dem Lichte abgewandten Seite. Bewegt sich daher einer der beiden Körper, so bewegt sich auch der Schatten, und zwar nach derselben Richtung, in der sich der dunkle Körper bewegt, in entgegengesetzter Richtung mit dem leuchtenden Körper, falls dieser seinen Ort verändert. Ersteres zeigt uns ein Bleistift, den wir im Sonnenlicht auf eine Papierfläche seinen Schatten werfen lassen und vor derselben hin und her bewegen; so schweben auch die Schatten von Wolken, welche der Sturm durch die Richtung der Sonnenstrahlen führt, nach derselben Seite über die Fluren hin. Wie aber der Schatten sich bewegt, wenn der leuchtende Körper seinen Ort ändert, beobachtet man mittels eines Lichtes, das man hin und her schiebt, während ein Bleistift auf ein Blatt Papier oder eine Wand seinen Schatten wirft. Während die Sonne am Himmel ihren Tagesbogen von Osten nach Westen beschreibt, fällt bei uns der Schatten eines Baumes oder eines lothrecht aufgestellten Stabes am Vormittag nach Westen, am Nachmittag nach Osten zu.

Eine Sonnenuhr. Wenn man im Mittelpunkt einer wagerechten Kreisscheibe einen Stift so befestigt, daß er lothrecht auf der Kreisfläche steht, und man nun am Rande derselben mit einer sich gleich bleibenden Geschwindigkeit eine Lichtflamme im Kreise herumführt, so wird der Schatten des Stiftes in gleichen Zeiten gleiche Räume durchlaufen und sich in jedem Augenblicke um einen eben so großen Kreisbogen weiter bewegen, wie in dem vorhergehenden Augenblicke. Dasselbe wird der Fall sein, wenn man die Kreisscheibe auf den Tisch legt und den auf den Tisch gestellten Leuchter gleichmäßig schnell um dieselbe herumschiebt; die kreisförmige Bahn der Flamme ist alsdann höher gelegen, als die Scheibe, aber mit ihr gleichlaufend. Hält man die Kreisscheibe schräg und läßt die Flamme an ihrem Rande oder parallel mit ihr einen Kreis um den Stift als Mittelpunkt durchlaufen, immer wird der Schatten des Stifts auf der Scheibe, wenn dieselbe der Bahn des leuchtenden Körpers parallel aufgestellt ist, bei gleichmäßiger Bewegung desselben in gleichen Zeiten gleich viel vorrücken. Es stelle in Fig. 336 der Kreis NOSW den Horizont vor, in dessen Mittelpunkte C der Beobachter steht, und in welchem N den Nordpunkt und S den Südpunkt, NS also die Mittagslinie bezeichnet. NPBSA sei am Himmel der Meridian für den Ort C. Dann hat die tägliche scheinbare Bahn der Sonne, ihr Tageskreis OBWA, eine gegen den Horizont geneigte Stellung, so daß der Winkel BCS oder

der Bogen BS 37½ Grad für eine Polhöhe NP oder geographische Breite von 52½ Grad (wie in Berlin) beträgt. Für andere Orte findet man, wie viel Grade der Bogen BS enthält, wenn man die geographische Breite des Ortes von 90 Grad abzieht. Alle von der Sonne beschriebenen Tageskreise haben eine mit OBWA parallele Lage. Stellt man daher parallel mit dem Kreise OBWA eine in 24 gleiche Theile getheilte Kreisscheibe auf,

Fig. 336.



und in der Mitte derselben einen Stift PEC, welcher mit der Scheibe rechte Winkel bildet, so durchläuft der Schatten des Stiftes in jeder Stunde den 24. Theil des Kreises und dient dazu, die Zeit anzugeben. Will man eine solche Kreisscheibe aufstellen, um eine einfache Sonnenuhr zu haben, so ziehe man nach §. 148 eine Mittagslinie NS oder bestimme dieselbe mit Hülfe einer Magnetnadel und stelle auf dieselbe nach Norden hin den mit der Stundenzahl 12 bezeichneten Punkt A der Uhrscheibe. Ferner hat man sich aus Holz oder starker Pappe mit Hülfe eines Transporteurs einen Kreisausschnitt, wie BCS, zu fertigen, in welchem der Winkel BCS 37½ Grad beträgt; diesen aus Holz geschnittenen Kreisausschnitt schiebt man in lothrechter Stellung mit seinem einen Halbmesser CS auf der Mittagslinie so weit, daß sein Endpunkt C den Punkt A der Uhrscheibe berührt. Die Linie AB der Uhrscheibe muß auf dem andern Halbmesser des Kreisausschnitts liegen, wie wenn in der Zeichnung der Ausschnitt BCS bis zum Punkte A abwärts geschoben wäre, und die obere Fläche des Ausschnitts muß mit der Uhrscheibe rechte Winkel bilden, so daß die auf der Uhrscheibe befindliche Linie OW, welche den Durchmesser AB unter rechten Winkeln durchschneidet wagerechte Richtung erhält, die Punkte O und W also gleich hoch liegen. Ist die Uhrscheibe so aufgestellt, so weiset ihr Stift EC nach dem Polarstern P hin. Während die Sonne den scheinbaren Weg von O nach B zurücklegt, bewegt sich der Schatten des Stifts von W nach A. Um Mittag steht die Sonne im Meridian in B, und der Schatten des Stifts fällt in die Linie CA. In jeder Stunde rückt er um den 24. Theil des Kreises weiter.

§. 294. Die Gestalt des Schattens.

Die Gestalt des Schattens hängt nicht bloß von der Gestalt des dunklen Körpers ab, sondern auch von seiner Stellung und von der Größe des leuchtenden Körpers.

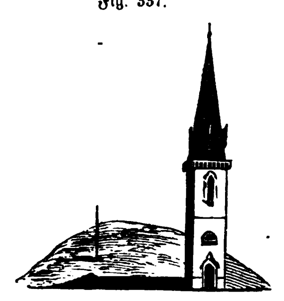
Versuch. Bei Sonnen- oder Kerzenschein halte man eine kreisrunde Papierscheibe so, daß die Sonnenstrahlen die breite Fläche rechtwinklig treffen; der Schatten der Scheibe werde auf einem Stück weißen Papiers aufgefangen und wird sich kreisrund darstellen. Man neige nun die Scheibe und gebe ihr nach und nach andere Stellungen, um die Veränderungen, die mit der Gestalt des Schattens vorgehen, zu beobachten. Ist die Scheibe endlich in eine solche Stellung gekommen, daß ihre breite Fläche dieselbe Richtung hat, wie die Lichtstrahlen, so wird sich der Schatten als eine gerade Linie darstellen. Nur eine Kugel wirft in jeder Stellung auf eine Fläche, mit der die Lichtstrahlen rechte Winkel bilden, einen kreisrunden Schatten.

Ist der leuchtende Körper größer, als der schattenwerfende, so wird der Schatten in größerer Entfernung hinter letzterem immer kleiner. Ist dagegen der leuchtende Körper der kleinere, so nimmt der Schatten mit der Entfernung an Größe zu und würde ohne Ende sein, wenn nicht auch die ihn begrenzenden Lichtstrahlen mit der Entfernung von der Lichtquelle immer schwächer würden, so daß sie sich von dem Schatten nicht mehr unterscheiden lassen.

§. 295. Die Länge des Schattens.

Die alltägliche Beobachtung lehrt, daß der Schatten eines Thurmes oder Baumes bei Sonnenaufgang sehr lang ist; er nimmt ab, je höher die Sonne steigt, und wächst am Nachmittag wieder desto mehr, je mehr die Sonne hinab sinkt. Die Länge des Schattens ist demnach vom Stande der Sonne abhängig.

Fig. 337.



Aus der Schattenlänge läßt sich die Höhe eines auf ebenem Boden aufrecht stehenden Gegenstandes, z. B. eines Thurmes, finden. Man stellt seitwärts von dem Schatten des Thurmes einen lothrechten Stab auf, dessen oberes Ende sich 3 M. über den Erdboden erheben mag. Darauf mißt man die Länge des von dem Thurme geworfenen Kernschattens von dem Ende desselben bis zu einem Punkt, der genau lothrecht unter der Spitze des Thurmes liegt; diese Länge betrage 15 M. Außerdem hat man sogleich noch die Länge des von dem Stabe geworfenen Kernschattens zu messen; sie möge 75 Cm. betragen. Bei dem gerade stattfindenden Stande der Sonne wird also ein 75 Cm. langer Schatten von einem 3 M. = 300 Cm. hohen

Gegenstande geworfen; die Höhe eines Gegenstandes übertrifft seine gegenwärtige Schattenlänge um so vielmal, als in 300 Cm. 75 Cm. enthalten sind; mithin ist der Gegenstand viermal so hoch, als jetzt sein Schatten lang ist. Der Schatten des Thurmes ist 15 M. lang, der Thurm also 4×15=60 M. hoch. Diese Messung gewährt nur eine annähernde Richtigkeit, weil sich der Kernschatten nicht ganz genau von dem Halbschatten unterscheiden läßt.

Als Beispiel diene der Straßburger Münster, der am 21. Juni auf wagerechtem Boden einen 46 M. langen Schatten wirft, während der Schatten eines 96 Cm. hohen, lothrecht in seiner Nähe aufgestellten Stabes zu derselben Zeit eine Länge von 31 Cm. hat.

§. 296. Die Stärke des Lichts.

Am Abend setzt man sich mit seiner Arbeit gern in die Nähe des Lichts oder der Lampe, weil in größerer Entfernung von der Lichtquelle die Beleuchtung schwächer wird.

Versuch a. Man stelle am Abend ein Buch mit kleiner Schrift lothrecht auf und entferne ein Licht oder ein brennendes Stückchen Wachsstock davon so weit, daß die Schrift kaum hell genug beleuchtet ist, um gelesen zu werden. Die Entfernung des Lichts vom Buche wird gemessen. Darauf schiebe man das Licht in doppelte Entfernung und stelle noch ein ganz gleiches Licht oder Wachsstocklichtchen daneben; die Schrift ist keineswegs hinreichend hell beleuchtet. Erst wenn man vier Lichter in dieser Entfernung aufgestellt hat, ist die Schrift wieder zum Lesen hell genug. In der doppelten Entfernung leuchten folglich vier Lichter ebenso stark, wie ein Licht in der einfachen Entfernung; in dreifachem Abstande muß man 9 Lichter, in dem vierfachen 16 Lichter anzünden, um gleich starke Beleuchtung zu erzielen.

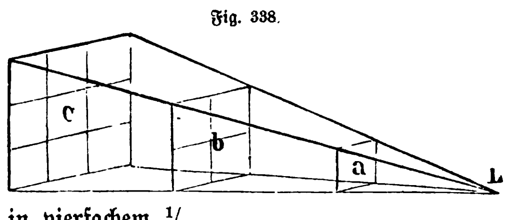
Versuch b. Ein viereckiges Stückchen Papier von 1 Cm. Länge und Breite werde an einem mit Wachs angeklebten Draht, 1 Cm. von einer kleinen Lichtflamme entfernt, lothrecht gehalten. Dahinter stelle man in doppelt so großer Entfernung von der Lichtquelle ein größeres Stück weißes Papier lothrecht auf, das sich an ein aufrecht stehendes Buch lehnen mag. Der Schatten zeigt sich größer, als die 1 Quadratcentimeter große schattenwerfende Fläche; das Licht, welches jetzt auf die 1 Cm. entfernte Fläche fällt, würde sich also in 2 Cm. Entfernung weiter ausgebreitet und eine größere Fläche beleuchtet haben, und zwar dieselbe Fläche, zu der es jetzt nicht gelangen kann, und die deshalb mit Schatten bedeckt ist. Mißt man den Schatten, so bildet er ein 2 Cm. langes und ebenso breites Viereck und nimmt einen Raum von vier Quadrat-Cm. ein. Dieselbe Lichtmenge, die in einfacher Entfernung auf 1 Quadrat-Cm. fällt, würde sich in doppelter Entfernung über eine viermal so große Fläche verbreitet haben, und jedem einzelnen Quadrat-Cm. nur der vierte Theil der Beleuchtung zu Theil geworden sein.

Die von einer Lichtquelle L ausgesendeten Strahlen gehen so aus-



einander, daß sie in einfacher Entfernung **1**, in doppelter 2 × 2 = **4**, in dreifacher 3 × 3 = **9** Quadrat-Cm. beleuchten. In doppeltem Abstande ist die Stärke der Beleuchtung $1/4$, in dreifachem $1/9$, in vierfachem $1/16$.

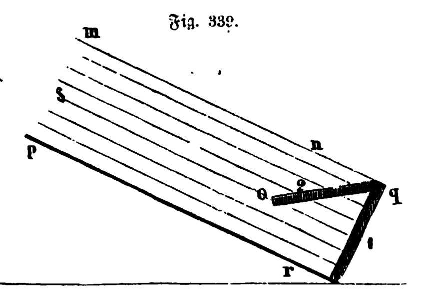
Fig. 338.



Gesetz I: Bei zunehmender Entfernung von der Lichtquelle nimmt die Stärke der Beleuchtung ab, und zwar nach den Quadratzahlen der Entfernung.

Versuch c. Außer nach der Entfernung von der Lichtquelle richtet sich die Stärke der Beleuchtung auch nach der Richtung der Lichtstrahlen. Bei Sonnenschein halte man ein Quartblatt Papier und davor ein kleineres Blättchen so, daß ihre beiden Flächen rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen werden. Neigt man nach und nach das schattenwerfende Papierstückchen und läßt die Lichtstrahlen immer schräger auffallen, so gehen immer mehr Strahlen an ihm vorbei, und sein Schatten wird darum kleiner. Wenn daher die Lichtstrahlen schräg auf eine Fläche fallen, so wird sie, da viele vorbeigehen, durch weniger Strahlen getroffen und beleuchtet, als wenn dieselben rechtwinklig auf sie fallen. Die Figur zeigt eine Fläche, die in zwei Stellungen von den Sonnenstrahlen getroffen wird; bei der in 1 gezeichneten Stellung, in welcher die Strahlen rechtwinklig auffallen, treffen alle gezeichneten Strahlen die Fläche; bei ihrer schrägen Stellung 2 geht ein Theil der Lichtstrahlen an ihr vorbei, ohne sie zu beleuchten.

Fig. 339.



Gesetz II: Die Beleuchtung ist desto schwächer, je schräger die Lichtstrahlen auffallen.

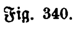
Werden zwei Körper durch verschiedene Lichtquellen erhellt, so ist die Beleuchtung desjenigen schwächer, der durch die schwächere Lichtquelle beleuchtet wird; die Stärke der Beleuchtung richtet sich auch nach der Lichtstärke des leuchtenden Körpers.

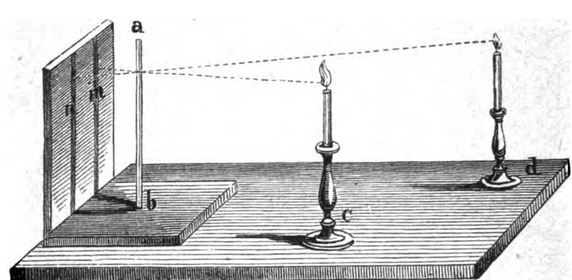
§. 297. Das Photometer.

Die Vorrichtungen zum Messen der Lichtstärke oder zur Vergleichung der Lichtstärke zweier Körper heißen Photometer. Das Photometer von Rumford besteht aus einem Stabe, der vor einem weißen Schirm in der Entfernung von 3 bis 5 Cm. lothrecht aufgestellt wird. Statt

des Stabes kann man jeden Bleistift benutzen und in ein mit Sand ge-
fülltes Glas stecken; als Schirm kann ein halber Bogen weißes Papier
dienen.

Versuch a. Stellt man in einem sonst nicht erhellten Zimmer zwei
gleiche Lichter in gleicher Entfernung, etwa 1 M. weit von dem Schirm,
auf, während der Stab von ihm 5 Cm. ent-
fernt ist, so wirft der Stab **zwei** Schatten auf den Schirm. Alle
andern Theile des Schirms empfangen Licht von beiden Kerzen, jeder Schatten
aber nur von einer Kerze. Der Schatten n erhält nur von der


Fig. 340.



Kerze c, und der Schatten m von der Kerze d Licht. Sind beide Kerzen
gleich, und sind ihre Entfernungen von den durch sie beleuchteten Schatten, n
und md, gleich, so müssen beide Schatten des Stabes gleich dunkel oder,
was dasselbe sagt, gleich hell sein. Um beide genau mit einander zu ver-
gleichen, rücke man die Lichter, ohne daß ihre Entfernung von dem Schirm
geändert wird, einander näher, bis die beiden Schatten sich berühren.

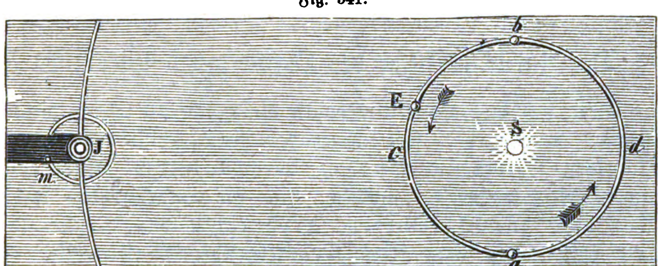
Versuch b. Man will untersuchen, wie stark eine Petroleumlampe
mit plattem Docht im Vergleich mit einer Stearinkerze leuchtet. Die
Lampe und die Kerze werden in einiger Entfernung von dem Photometer
aufgestellt und so lange hin und her geschoben, bis die beiden Schatten
des Stabes dicht neben einander liegen und **gleich hell** erscheinen. Ist
dies erreicht, so mißt man, am bequemsten, nachdem die Flammen ausge-
löscht sind, sowohl die **Entfernung** der Lampe, als auch die der Kerze
von dem Schirm. Die Entfernung der Lampe von demselben möge 14 Dm.,
die der Kerze 8 Dm. betragen. In der Entfernung von 8 Dm. breiten
sich die Lichtstrahlen der Kerze über eine $8 \times 8 = 64$ Mal so große
Fläche aus, als in der Entfernung von 1 Dm. Der Schirm wird daher
durch $^1/_{64}$ von der Lichtstärke der Kerze beleuchtet. Die Lampe ist 14 Dm.
von dem Schirm entfernt; er wird darum durch $\frac{1}{14 \times 14} = {}^1/_{196}$ von der
Lichtstärke der Lampe beleuchtet. Die beiden Stellen des Schirms aber,
deren jede nur von einer der zwei Lichtquellen Licht empfängt, die beiden
Schatten, sind **gleich** hell beleuchtet. Folglich ist $^1/_{64}$ von der Lichtstärke
der Kerze gleich $^1/_{196}$ von der Lichtstärke der Lampe. Die ganze Leucht-
kraft der Kerze ist 64 Mal so groß und beträgt $^{64}/_{196}$ oder ungefähr
von der der Lampe. Die Petroleumlampe brennt daher 3 Mal so hell
als die Stearinkerze.

§. 298. Die Geschwindigkeit des Lichts.

Das Licht legt in einem Augenblicke Tausende von Meilen zurück. Wenn daher auch von zwei ungleich weit entfernten hellen Gegenständen auf der Erde zu gleicher Zeit Lichtstrahlen ausgehen, so langen sie doch zu gleicher Zeit in unserem Auge an. Die Geschwindigkeit des Lichts ist zu groß, als daß sie ohne zusammengesetzte Vorrichtungen durch Beobachtung irdischer Gegenstände ermittelt werden könnte.

Der dänische Astronom Olaf Römer fand im Jahre 1675 die Geschwindigkeit des Lichts bei der Beobachtung der Jupitermonde. Wegen der Größe des Jupiters und der geringen Entfernung der vier Monde von ihm gehen die drei nächsten derselben bei jedem Umlauf durch den Schatten ihres Hauptplaneten und werden verfinstert. Da die Verfinsterungen regelmäßig eintreten, müßten wir sie auch genau nach Ablauf derselben Zeit wiederkehren sehen. Römer fand aber, daß man die Verfinsterungen immer später wahrnimmt, je weiter sich die Erde von dem Jupiter entfernt hat, daß das Licht, der einzige Bote von dem Anfangen oder Aufhören der Verfinsterung, später zu uns gelangt, wenn es einen

Fig. 341.



weiteren Weg zu durchlaufen hat. Stellt S die Sonne, J den Jupiter, m seinen nächsten Mond, und E die Erde in ihrer dem Jupiter nächsten Stellung dar, so entfernt sich die Erde, indem sie sich in ihrer Bahn von E nach C bewegt, mehrere Tage lang nicht vom Jupiter. Die dann zwischen zwei Verfinsterungen des nächsten Jupitermondes beobachtete Zeit beträgt stets 42 Stunden 28 Minuten 36 Sekunden. Steht aber die Erde in a, um den vierten Theil ihrer Bahn von dem Punkte E entfernt, so bewegt sie sich vom Jupiter hinweg und durchläuft während eines Umlaufes des nächsten Jupitermondes 568000 geographische Meilen; dann wird die folgende Verfinsterung des Jupitermondes von der Erde aus 14 Sekunden später gesehen. Das Licht hat 568000 Meilen mehr zurückzulegen, um zu uns zu gelangen, und gebraucht dazu 14 Sekunden. Steht dagegen die Erde in dem Punkte b ihrer Bahn, so kommt sie während eines Umlaufs jenes Jupitermondes dem Jupiter 568000 Meilen näher; die nächste Verfinsterung des Jupitermondes wird dann von der Erde aus 14 Sekunden früher gesehen, weil das Licht 568000 Meilen

weniger zurückzulegen hat. In einer Sekunde legt das Licht daher den 14. Theil von 568000 Meilen oder 40000 Meilen zurück. **Die Geschwindigkeit des Lichts beträgt 40000 geographische Meilen** oder **297000 Kilometer für eine Sekunde.** Das Sonnenlicht, das fast 20 Millionen Meilen durchlaufen muß, kommt nach $8\frac{1}{4}$ Minute auf der Erde an. Das Licht der nächsten Fixsterne erhalten wir nach 3 Jahren, das der entferntesten erst nach Jahrhunderten. Die Lichtstrahlen, die in einer Sternennacht unser Auge treffen, kommen wie Boten die zu sehr verschiedenen Zeiten abgereist sind und uns aus verschiedenen Zeiten Meldungen bringen; das Mondlicht redet fast von der Gegenwart, das Sternenlicht von der jüngsten oder ferneren Vergangenheit; es ist Gegenwärtiges und längst Vergangenes, das wir zugleich am Himmel wahrnehmen. Die Geschwindigkeit des Lichts ist ungefähr eine Million Mal so groß, als die Geschwindigkeit des Schalles, welche 333 Meter beträgt. (§. 276).

Die Zurückwerfung des Lichts.

§. 299. Die Zurückwerfung des Lichts durch spiegelnde Flächen.

So lange sich das Licht innerhalb einer überall gleich dichten Luftschicht bewegt, verbreitet es sich in gerader Linie; trifft es aber auf einen undurchsichtigen Körper, so wird es durch denselben verhindert, seinen geradlinigen Weg weiter fortzusetzen, und die Lichtstrahlen werden von seiner Oberfläche **zurückgeworfen**, gleich einem von der Wand zurückprallenden Balle, den vom Ufer zurückkehrenden Wasserwellen oder den zurückgeworfenen Schallwellen (§. 277).

Versuch. Legt man einen **kleinen Spiegel** wagerecht an eine Stelle, wo er von den Sonnenstrahlen oder des Abends von dem Licht einer Kerze getroffen wird, so nimmt man an der Wand oder der Decke des Zimmers eine hell beleuchtete Fläche wahr. Sie hat die Gestalt des Spiegels und ändert dieselbe, wenn man einen Theil des Spiegels bedeckt. Bringt man das Auge in gerade Linie zwischen dem Spiegel und der hell beleuchteten Fläche, so wird es von den Lichtstrahlen getroffen und geblendet. Die Lichtstrahlen haben also, nachdem sie auf den Spiegel gefallen sind, ihre Richtung geändert und einen neuen Weg eingeschlagen; sie sind von der spiegelnden Fläche zurückgeworfen und gelangen jetzt an einen Ort, den sie sonst nicht erreicht haben würden. Bewegt man den Spiegel, so giebt man den zurückgeworfenen Strahlen eine andere Richtung.

Ebenso erfolgt die **Zurückwerfung oder Reflexion** des Lichts **bei allen Körpern mit glatter Oberfläche**. Daher läßt sich der Versuch auch mit einer polirten Metallscheibe, mit polirtem Holz, mit dem Wasserspiegel in einer gefüllten Schüssel und mit der Quecksilber-

oberfläche in einem Gläschen, sogar mit einer unbelegten Glasscheibe anstellen, wenn man diese so hält, daß die Lichtstrahlen ziemlich schräg auffallen. Einen für den Versuch zweckmäßigen Spiegel erhält man, indem man eine kleine Scheibe Fensterglas erwärmt und auf einer Seite mit schwarzem Siegellack überzieht.

Jede zurückwerfende glatte Fläche nennen wir einen Spiegel.

§. 300. Gesetze über die Zurückwerfung des Lichts.

Versuch a. Es werde aus Pappe ein Halbkreis SNOP geschnitten und lothrecht auf einen Spiegel SP gestellt, der eine wagerechte Lage hat; es genügt ein kleines Stück eines Spiegels, das man unter den Mittelpunkt M des Halbkreises legt. Um den Rand des Halbkreises befestige man mit Siegellack oder Stärkekleister einen handbreiten Streifen von starkem Papier, der von dem Punkt S über N und O bis P reicht. Dieser Streifen wird an einer beliebigen Stelle N, die jedoch dicht neben der Ebene des Halbkreises liegt, durchbohrt. So vorbereitet, giebt man entweder Abends bei Kerzenlicht oder bei Tag im Sonnenschein der Vorrichtung eine solche Stellung, daß Lichtstrahlen durch die Oeffnung N dringen und eine Stelle des Spiegels nahe an der Ebene des Halbkreises in seiner Mitte M treffen. Die getroffene Stelle des Spiegels wird durch hellere Beleuchtung kenntlich sein. Zugleich wird sich an der inneren Seite des um den Halbkreis befestigten Streifens eine Stelle O beleuchtet zeigen; die Lichtstrahlen werden aber nicht zu ihr gelangen, wenn man die Mitte M des Spiegels mit dem Finger verdeckt. Folglich nimmt der Lichtstrahl von der Lichtquelle den Weg durch N nach M, ändert hier, von der Spiegelfläche zurückgeworfen, seine Richtung und nimmt von M seinen Weg nach O. Nun hat sich erstlich der einfallende Stahl NM längs der auf dem Spiegel senkrechten Ebene des Halbkreises zuerst bis M und dann längs derselben Ebene bis O bewegt, welcher Punkt dicht neben dem Halbkreise liegt. Mithin bleibt der zurückgeworfene Strahl mit dem einfallenden Strahle in derselben, auf dem Spiegel senkrechten Ebene. Zweitens messe man den Bogen SN nach Graden oder mit dem Cirkel; die Stelle O, die der zurückgeworfene Strahl MO trifft, wird ebenso weit von P liegen, als N von S; die Bogen NS und OP sind gleich; die Bogen aber sind ein Maß für die Winkel E und Z, welche somit ebenfalls einander gleich sind. Der zurückgeworfene Strahl MO bildet mit der Spiegelfläche einen ebenso großen Winkel, wie der einfallende Strahl NM. Durchbohrt man die Stelle O und bringt das Auge daran, so sieht man in der Richtung OM den blendenden Lichtschein der Sonne oder der Flamme.

Fig. 342.

Versuch b. Auf einen wagerecht liegenden kleinen Spiegel M stelle man lothrecht einen Halbkreis und befestige an irgend einen **Punkt** desselben N ein Blech mit einer Oeffnung. Bestimmt man nun mit **Hülfe** des Cirkels einen Punkt O, **der an** dem Halbkreise sich ebenso **hoch über** P erhebt, als die **Oeffnung über** S, oder macht man den **Bogen** OP so groß, wie den Bogen NS, **und** legt das Auge an O, so **wird** man, nach M sehend, im **Spiegel** das Bild der Oeffnung **wahrnehmen**. Sobald man aber die **Mitte M** des Spiegels oder irgend **einen Punkt** der Linien NM oder MO **mit** dem Finger verdeckt, ist das **Bild** nicht wahrzunehmen. Die **von** N nach der Mitte des Spiegels M **ausge**sandten Lichtstrahlen **haben** daher nach der Zurückwerfung **den** Weg MO zurückgelegt. Sie **sind in** der Ebene des Halbkreises **geblieben** und sind unter einem Winkel Z **zurück**geworfen, der ebenso groß, **wie** der Winkel E ist, unter welchem sie einfielen. So ergeben sich denn **als**

Fig. 343.

Hauptgesetze der Zurückwerfung: I. Der zurückgeworfene Strahl bleibt mit dem einfallenden Strahle in derselben, auf dem Spiegel senkrechten Ebene.

II. Der zurückgeworfene Strahl bildet mit der Spiegelfläche einen ebenso großen Winkel, wie der einfallende Strahl.

Häufig drückt man das zweite dieser Gesetze, welche für alle Arten von Spiegeln gelten, anders aus. Man denkt sich nämlich einen in dem Punkt M, wo der einfallende Strahl den Spiegel trifft, lothrecht auf ihn fallenden Lichtstrahl AM und nennt ihn das Einfallsloth. Da das Einfallsloth mit der Spiegelfläche Winkel von 90 Grad bildet, der zurückgeworfene Strahl OM aber mit ihr einen ebenso großen Winkel, den wir zu 20 Grad annehmen wollen, macht, als der einfallende Strahl NM, so liegt zwischen dem ersten Strahl OM und dem Einfallsloth AM ein Winkel von 70 Grad, und der Winkel zwischen NM und AM beträgt ebenfalls 70 Grad. Der zurückgeworfene Strahl bildet somit auch mit dem Einfallslothe einen ebenso großen Winkel, wie der einfallende Strahl. Und nennt man den Winkel OMA zwischen dem zurückgeworfenen Strahl und dem Einfallslothe den Zurückwerfungswinkel, den Winkel NMA aber zwischen dem einfallenden Strahle und dem Lothe

den Einfallswinkel, so geschieht die Zurückwerfung stets so, daß der Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist.

§. 301. Die durch einen ebenen Spiegel dargestellten Bilder.

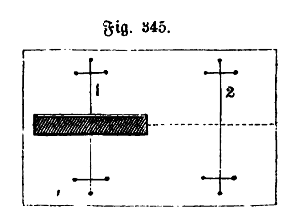
Der gewöhnliche, ebene Spiegel besteht aus einer Glasscheibe, die mit Zinn und Quecksilber belegt ist; ein Blatt Stanniol- oder dünngewalztes Zinn von der Größe der zu belegenden Scheibe ist in wagerechter Lage gleichmäßig durch aufgegossenes Quecksilber benetzt, und die sorgfältig gereinigte Glasscheibe darauf gelegt und mit Gewichten beschwert worden; in 24 Stunden hat sich das Metallgemisch mit starker Adhäsion (§. 84 B) an das Glas gelegt und hinreichende Festigkeit gewonnen. Diese Belegung bildet die spiegelnde Fläche. Aber auch die vordere Fläche des Glases spiegelt, besonders wenn man schief darauf sieht, und die so entstehenden doppelten Bilder machen eine Unvollkommenheit aller Glasspiegel aus, die indeß nur für sehr genaue Untersuchungen in Betracht kommt. Die vollkommensten und theuersten Spiegel sind Metallspiegel.

Versuch a. Für die folgenden Versuche diene ein gewöhnlicher Spiegel von beliebiger Gestalt und Größe, und als abzubildender Gegenstand ein Kreuz, gefertigt aus einem Stäbchen, in welches zwei Nadeln gesteckt worden sind. Der Spiegel habe lothrechte Stellung. Lothrecht davor gehalten, erscheint das Kreuz in lothrechter Stellung abgebildet und in derselben Gestalt und Größe, wobei das Bild sich ebenso weit hinter dem Spiegel darstellt, als der Gegenstand vor ihm liegt. — Giebt man dem Kreuze wagerechte Lage, so daß sein Fuß dem Spiegel nahe ist, so erscheint auch sein Bild wagerecht, und sein Fuß zeigt sich zunächst an der Hinterfläche des Spiegels abgebildet. — Hält man das Kreuz in geneigter Stellung, so ist auch sein Bild geneigt und ebenso von der Hinterfläche des Spiegels hinweggeneigt, wie der Gegenstand von der vorderen Fläche; das Bild des dem Spiegel ferneren Querarms liegt ferner hinter ihm, das des näheren Fußes in geringerer Entfernung hinter ihm.

Fig. 344.

Versuch b. Der Spiegel werde wagerecht auf den Tisch gelegt. Ein lothrecht darauf gestellter Gegenstand giebt ein lothrechtes Bild, das auf dem Kopfe steht. In völliger Uebereinstimmung mit dem vorhergehenden Versuche bildet sich der unterste Punkt des Gegenstandes, der dem Spiegel am nächsten ist, zunächst unter ihm ab, und der oberste Theil des Gegenstandes, der von dem Spiegel größere Entfernung hat, erhält ein Bild in größerer Entfernung unter dem Spiegel. — Aber der Gegenstand bildet

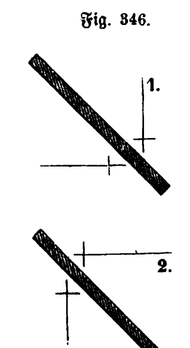
Fig. 345.



sich auch ab, wenn er nicht über oder vor dem Spiegel, sondern seitwärts von ihm (in 2) aufgestellt wird. Steht das Kreuz auf der rechten Seite, so wird ein ebenda befindliches Auge kein Bild bemerken, erst auf der entgegengesetzten, linken Seite sieht es den Gegenstand ganz so abgebildet, als stände er über dem Spiegel; das Bild hat dieselbe Stellung, und die einzelnen Punkte dieselbe Entfernung von der Spiegelfläche, wenn man sich diese nach rechts verlängert denkt. Eine ähnliche Erscheinung bieten die Ufer neben einem Wasserspiegel.

Versuch c. Man gebe dem Spiegel eine schräge Stellung, so daß er von der wagerechten Richtung um die Hälfte eines rechten Winkels oder um 45 Grad abweicht, und bringe das Kreuz zuerst in lothrechter Stellung vor ihn. Dann ist die Spitze des Kreuzes um einen Bogen von 45 Grad vom Spiegel entfernt und wird sich so abbilden, daß sie, von der Hinterfläche des Spiegels um einen ebenso großen Bogen entfernt, sich darstellt. Das Bild des aufrecht stehenden Gegenstandes hat darum in dem geneigten Spiegel liegende Stellung.

Fig. 346.



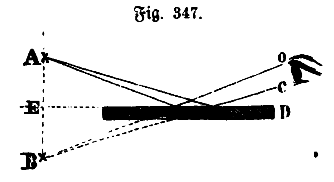
Wenn man dagegen, wie in 2, dem Gegenstande liegende Stellung giebt, so zeigt sich das Bild aufrecht stehend. Und rollt man vor dem geneigten Spiegel auf der Tischfläche eine Kugel oder einen Bleistift von ihm weg oder zu ihm hin, so ist auch das Bild des sich bewegenden Körpers in Bewegung und scheint lothrecht auf- und nieder zu rollen.

Die von dem Auge in einem ebenen Spiegel gesehenen Bilder scheinen ebenso weit hinter der Spiegelfläche zu liegen, als der Gegenstand vor derselben liegt, und haben mit dem Gegenstande gleiche Größe und Gestalt.

Versuch d. Das Bild von der rechten Seite eines Gegenstandes, z. B. von der rechten Hand des Beobachters, muß sich dieser gegenüber darstellen; an einem uns gegenüber stehenden Menschen liegt aber die linke Hand unserer rechten gegenüber. Im Vergleich zu einem wirklichen Gegenstand ist daher an dem Bilde die rechte Seite mit der linken vertauscht. Stellt man sich vor den Spiegel, indem man mit der Rechten schreibt, so scheint das Bild mit der Linken zu schreiben. Bringt man ein aufgeschlagenes Buch vor den Spiegel, so kann man die abgespiegelte Schrift nicht lesen, weil der links liegende Anfang der Zeilen und die linke Seite der einzelnen Buchstaben sich rechts abbildet. Man wende die innere Fläche der linken Hand dem Spiegel zu und betrachte ihr Bild; vergleicht man es mit der inneren Fläche der rechten Hand selbst, so wird man die vollständigste Uebereinstimmung finden; mithin verhält sich die linke Hand zu ihrem Bilde gerade ebenso, wie die linke Hand zur rechten. Die beiden Hände sind symmetrisch gebaut. Auf gleiche Weise sind das Spiegelbild und der abgebildete Gegenstand symmetrisch gestaltet, so daß die linke Seite des einen der rechten Seite des andern entspricht.

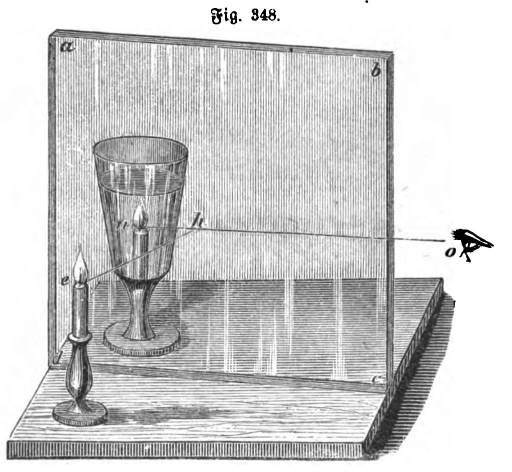
Versuchen wir nun, die Lage des dem Auge erscheinenden Spiegelbildes aus den Gesetzen der Zurückwerfung zu erklären. Von dem Punkte A vor der verlängert gedachten Spiegelfläche fallen unzählig viele Strahlen auf den Spiegel, unter andern auch AM und AN. Sie alle werden so zurückgeworfen, daß der zurückgeworfene Strahl mit der Spiegelfläche einen ebenso großen Winkel macht, wie der einfallende. Der Strahl AM nimmt nach der Zurückwerfung den Weg MO, und AN den Weg NC. Beide Strahlen sammt den zwischen ihnen liegenden gelangen ins Auge. Ihre Richtung ist aber eine solche, daß sie insgesammt, wenn man sie über die Hinterfläche des Spiegels hinaus verlängert, in dem Punkte B, der ebenso weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der Gegenstand A vor derselben, zusammentreffen; das Auge erhält durch die zurückgeworfenen Strahlen denselben Eindruck, als ob sie von dem Punkt B hinter der spiegelnden Fläche ausgingen; sie würden das Auge eben so berühren, wenn der Gegenstand selbst in dem Punkt B sich befände, und kein Spiegel da wäre. Keineswegs ist aber in dem gleich weit hinter der Spiegelfläche gelegenen Punkte B wirklich ein Bild vorhanden, etwa wie ein Gemälde vorhanden bleibt, wenn es auch kein Mensch ansieht; von dem Punkte gehen ja nicht wirklich Lichtstrahlen aus; sondern die Zurückwerfung giebt ihnen eine solche Richtung, daß sie dem Auge von dorther auszugehen *scheinen*. Wäre in B objectiv oder wirklich ein Bild vorhanden, so würde es auch sichtbar bleiben, wenn das Auge sich links vom Spiegel befände, wobei gar kein Gegenstand zwischen beiden wäre, der es verdeckte; das Bild verschwindet aber dann, weil keine zurückgeworfenen Strahlen ins Auge gelangen.

Fig. 347.



Das Bild in einem ebenen Spiegel ist somit nichts objectiv Vorhandenes; sondern es ist ein nur dem Auge des sehenden Subjects erscheinendes, *subjectives* Bild.

Fig. 348.



Versuch e. Man gebe einer unbelegten, *durchsichtigen Glasscheibe* eine solche Stellung, daß die Strahlen einer *Kerzenflamme* ziemlich schräg auf dieselbe fallen. Am einfachsten wird das ausgeführt, indem man auf ein Fensterbrett nahe der links befindlichen Wand eine brennende Kerze e stellt und den linken Fensterflügel a b c d ein Wenig öffnet. Ein rechts befindliches, nicht weit von der Fensterscheibe ent-

ferntes Auge o nimmt dann hinter der Scheibe deutlich das Spiegelbild n des brennenden Lichtes wahr. Weil aber die Scheibe abcd nicht bloß spiegelt, sondern auch durchsichtig ist, nimmt man auch die hinter derselben befindlichen Gegenstände wahr. Hält oder stellt man daher ein mit Wasser gefülltes Trinkglas hinter der Scheibe da auf, wo das Bild n des Lichtes erscheint, so sieht das Auge ein Licht, das in einem mit Wasser gefüllten Glase brennt. Die Täuschung wird, besonders des Abends, vollständig, wenn man die brennende Kerze und die Ränder der Glasscheibe für das beobachtende Auge verdeckt; man bedient sich dazu einer Papptafel, in welcher eine ziemlich große Oeffnung zum Hindurchsehen angebracht ist.

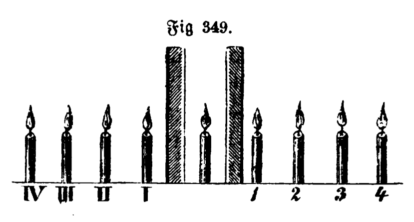
Die Eigenschaft unbelegter Glasplatten, daß sie spiegeln und gleichzeitig die hinter ihnen befindlichen Gegenstände erkennen lassen, hat Anlaß gegeben, in neuerer Zeit große Glastafeln als **Bühnenspiegel** anzuwenden. Versetzen wir uns unter die Zuschauer in einem größeren Theater. Es wird ein Stück gegeben, in welchem eine Geistererscheinung einen Wendepunkt herbeiführt. Die Lichter des Hauses brennen weniger hell; die Bühne ist nur mäßig beleuchtet; da bildet sich an einer Stelle der Bühne plötzlich ein heller Schein und entwickelt sich zu den deutlichen Umrissen einer verhüllten menschlichen Gestalt. Der Geist ist da, schreitet ungehindert durch Felsen und Bäume hindurch, wird durch Lanzenstiche und Schwerthiebe nicht beschädigt, geht auf den Helden los und faßt ihn an. Mit hohlklingender Stimme richtet der Geist seine Botschaft aus und verschwindet ebenso geheimnißvoll, wie er gekommen ist. Der Bühnenspiegel, welcher diese Erscheinung hervorbringt, ist eine große, unbelegte Glastafel; er hat nicht selten 5 M. ins Gevierte und wird auch wohl aus mehreren Tafeln von dieser Größe zusammengestellt; seine Ränder werden durch Coulissen verdeckt, und die Zusammenfügungsstellen durch Guirlanden verhüllt. Der Spiegel steht vornüber geneigt, so daß sein oberer Theil den Zuschauern näher ist. Die abzubildende Person, welche den Geist darstellt, befindet sich in einer für die Zuschauer nicht wahrnehmbaren, offnen Versenkung zwischen dem Spiegel und dem Zuschauerraum und wird durch elektrisches Kohlenlicht, Drummond'sches oder Magnesiumlicht auf das kräftigste beleuchtet. Die von der stark beleuchteten lebenden Gestalt ausgehenden Lichtstrahlen werden von der großen Glastafel zurückgeworfen und verursachen in den Augen des Publicums ein subjectives Spiegelbild. Der auf der Bühne, hinter der Glastafel, befindliche Schauspieler sieht von der ganzen Geistererscheinung gar Nichts; aber in den Proben werden ihm genau die Stellen bezeichnet, wo den Zuschauern der Geist zu sein scheint. Das Kommen und das Verschwinden des Gespenstes wird durch Oeffnen oder Schließen des unter der Bühne aufgestellten Beleuchtungskastens bewirkt.

§. 302. Die Bilder in zwei ebenen Parallelspiegeln.

Versuch. Man stelle zwei ebene Spiegel einander parallel gegenüber so daß sie sich gegenseitig die spiegelnden Flächen zukehren. Beide mögen

lothrechte Stellung haben, und zwischen ihnen sei als abzubildender Gegenstand ein angezündetes Licht aufgestellt. Ein demselben genähertes Auge sieht in jedem der beiden Parallelspiegel, dem es sich zuwendet, eine Reihe hinter einander stehender Spiegelbilder. Zunächst bildet sich der Gegenstand einmal in jedem der zwei Spiegel ab, und dadurch entstehen für das Auge die Bilder 1 und I. Aber in dem Spiegel zur Linken bildet sich der rechts aufgestellte Spiegel sammt dem Spiegelbilde 1 ab, und dadurch entsteht das Spiegelbild II. Der Spiegel zur Rechten entwirft aber auf dieselbe Weise ein Bild von dem links befindlichen Spiegel und den in ihm sichtbaren Bildern I und II, und dadurch entstehen die Spiegelbilder 2 und 3. Das Abbild dieser Bilder im linken Spiegel ist III und IV. Indem stets das in dem einen Spiegel entstandene Bild durch den anderen Spiegel abgebildet wird, würden in den Parallelspiegeln von einem zwischen ihnen stehenden Gegenstande unzählig viele Bilder sich zeigen, wenn die Bilder nicht mit jeder Zurückwerfung an Helligkeit verlören; nur eine gewisse Anzahl derselben hat die zur Sichtbarkeit nöthige Lichtstärke.

Fig 349.



§. 303. Ebene Winkelspiegel und das Kaleidoskop.

Versuch. Man stelle zwei Spiegel oder zwei auf der Rückseite mit Tusche geschwärzte Glasscheiben lothrecht auf, lasse sie mit den Kanten zusammenstoßen und mit einander einen Winkel bilden. Ein in beide Spiegel schauendes Auge nimmt von einem zwischen ihnen stehenden Gegenstande eine Anzahl Bilder wahr, die desto größer ist, je kleiner man den Winkel macht, unter dem die Spiegel zusammenstoßen. Hält man die Winkelspiegel so, daß zwischen ihnen ein rechter Winkel oder der vierte Theil des Kreises liegt, so sieht man den Gegenstand viermal, nämlich einmal ihn selbst und dreimal im Bilde. Nähert man die Spiegel einander, so daß sie nur den sechsten Theil eines Kreises zwischen sich lassen, so sieht man den Gegenstand im Ganzen sechsmal. — Ein Kreisbogen, der den 6. Theil eines Kreises ausmacht, werde dann wagerecht unter die Spiegel geschoben, an eine Stelle, wo er sie mit seinen Endpunkten berührt; er wird sammt den Spiegelbildern einen ganzen Kreis bilden. — Ein aus Papier geschnittenes Dreieck MNO, unten zwischen zwei Spiegel MS und MP gebracht, die um den 12. Theil eines Kreises von einander abweichen, wird im Ganzen zwölfmal gesehen und stellt sich sammt allen seinen Spiegelbildern als ein sechseckiger Stern dar.

Fig. 350.

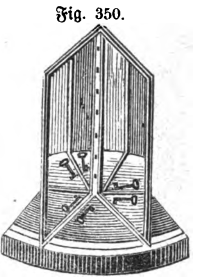
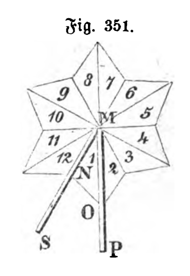


Fig. 351.

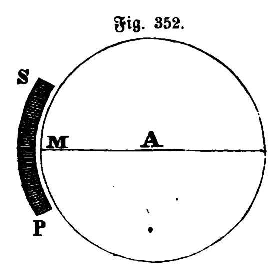


Eine bekannte Anwendung der Winkelspiegel ist das **Kaleidoskop**; es besteht aus zwei ebenen, auf der Rückseite geschwärzten Spiegeln, die unter einem Winkel zusammengelegt und von einer Röhre umschlossen sind. An dem einen Ende der Röhre befindet sich eine Kapsel, gebildet durch zwei ebene Glasscheiben, und angefüllt mit durchscheinenden Steinchen und farbigen Glasstücken; das äußere Glas der Kapsel ist matt geschliffen und läßt bei seiner durchscheinenden Beschaffenheit das Tageslicht eindringen, gestattet aber nicht, daß die außerhalb der Vorrichtung befindlichen Gegenstände sich in den Spiegeln abbilden. Die andere Oeffnung der Röhre ist eng und zum Hineinsehen bestimmt. Das hineinschauende Auge erblickt beim Umdrehen der Röhre immer neue symmetrische, vieleckige oder sternförmige Gruppirungen der farbigen Körper, die sich zu Mustern für Verzierungen, Gewebe, Drahtgeflechte und Tapeten eignen. Indessen ist zu diesem Behufe die einfache Zusammenstellung von zwei aufrecht stehenden Spiegeln, ohne Röhre, vorzuziehen; man legt unter dieselben streifige Zeichnungen, die sich, zu Sternen oder Vielecken gruppirt, abbilden.

§. 304. Der Hohlspiegel als Brennspiegel und als Beleuchtungsspiegel.

Versuch a. In Ermangelung eines größeren Hohlspiegels kann man sich eines Rasirspiegels bedienen. Weniger gut ist ein Uhrglas, dessen erhabene Seite man mit Siegellack überzieht; es ist bequem, daran mit Siegellack einen Kork zu befestigen, der als Handgriff dient.

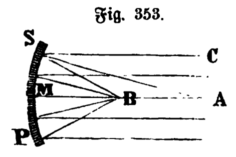
Fig. 352.



Ein Hohlspiegel ist ein Stück einer inwendig polirten Kugelfläche oder Kugelschale. Die ganze Kugel ist sehr groß im Vergleich zu dem Stück, das den Spiegel ausmacht. Ein Strahl, der die Mitte des Spiegels rechtwinklig trifft, AM, oder der von dem Mittelpunkte der ganzen Kugel nach der Mitte des Spiegels geht, heißt die **Axe des Hohlspiegels**.

Man richte den Hohlspiegel gegen die Sonne und gebe ihm eine solche Stellung, daß die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen. Sie werden von dem Spiegel zurückgeworfen. Alle

Fig. 353.



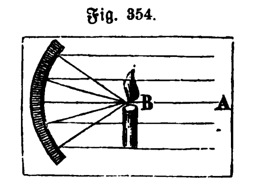
zurückgeworfenen Strahlen kann man durch einen sehr schmalen Streifen von Papier auffangen, den man vor den Spiegel hält. Es zeigt sich auf dem Papier ein heller Kreis; man gebe ihm eine solche Entfernung von dem Spiegel, daß der Kreis möglichst klein wird und fast als ein Punkt erscheint. Die parallel auffallenden Lichtstrahlen werden folglich durch einen Hohlspiegel so zurückgeworfen, daß sie alle durch einen und denselben Punkt gehen. Dieser Punkt liegt, wie man finden wird, **in der Axe** des

Spiegels, ungefähr in der Mitte B zwischen dem Mittelpunkt der Kugel A und dem des Spiegels M. Da die Sonnenstrahlen zugleich erwärmen, bewirken die zurückgeworfenen Strahlen in dem Punkte B, durch den sie alle gehen, eine größere Wärme, durch welche brennbare Körper entzündet werden. Daher heißt der Vereinigungspunkt der vom Hohlspiegel zurückgeworfenen Sonnenstrahlen der Brennpunkt. Die Entfernung MB′ des Brennpunkts vom Spiegel heißt die Brennweite. Bei unserm kleinen Spiegel wird die im Brennpunkte erregte Wärme nur unbedeutend, doch durch das Gefühl an einem Finger deutlich wahrnehmbar sein; die beträchtlichen Wirkungen großer Hohlspiegel finden in §. 347 Erwähnung.

Der Hohlspiegel wirkt darum als **Brennspiegel,** weil alle mit der Axe parallelen Strahlen nach dem Brennpunkte zurückgeworfen werden.

Versuch b. Der umgekehrte Fall tritt ein, wenn die Lichtstrahlen vom Brennpunkt ausgehen. Die Lage des Brennpunktes und seine Entfernung vom Hohlspiegel ist durch den vorhergehenden Versuch gefunden. Nun stelle man in der Nähe des Brennpunktes B eine kleine Lichtflamme auf. Das Auge sieht dann den ganzen Spiegel mit einem hellen Lichtschimmer erfüllt, und ein größeres Papierstück, das man in die Gegend des Punktes A hält, wird hell beleuchtet. Werden nämlich die parallel mit der Axe einfallenden Strahlen nach dem Brennpunkte zurückgeworfen, so werden umgekehrt die vom Brennpunkte aus einfallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen und verstärken die Beleuchtung. Daher werden Hohlspiegel, in deren Brennpunkt eine Flamme brennt, in Laternen, Wandleuchtern, besonders aber auf Leuchtthürmen angewandt.

Fig. 354.



Der Hohlspiegel dient als **Beleuchtungsspiegel,** weil alle aus seinem Brennpunkte auf ihn fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen werden.

§. 305. Die von einem Hohlspiegel hervorgebrachten objectiven Bilder.

Versuch a. Um zu untersuchen, was für Bilder ein Hohlspiegel giebt, nehme man das für die vorhergehenden Versuche verwandte Uhrglas und stelle als abzubildenden Gegenstand eine brennende Kerze G auf. Dieselbe stehe zuerst ungefähr ein Meter von dem Spiegel entfernt. Man wird ein umgekehrtes und verkleinertes Bild wahrnehmen. Aber weil man gewohnt ist, bei einem ebenen Spiegel das Bild hinter dem Spiegel zu sehen, wird man sich über den Ort, wo das Bild entsteht, täuschen und es in oder hinter den Spiegel versetzen. Man nehme daher entweder einen schmalen Streifen von dickem Papier oder von

durchscheinendem Seidenpapier und halte es vor den Spiegel, in die Nähe des Brennpunktes; leicht wird man die Entfernung vom Spiegel finden, in welcher das Bild g deutlich auf dem Papier erscheint; sollte es nicht vollkommen deutlich sich darstellen, so ist der Spiegel im Vergleich zu der ganzen Kugel, von der er ein Stück bildet, zu groß, und man muß seinen Rand ringsum durch einen Ring von Papier verdecken. Das umgekehrte, verkleinerte Bild der Flamme erscheint auf dem durchscheinenden Papier, wie ein gemaltes Bild; es läßt sich von verschiedenen Seiten betrachten, wie ein wirklich vorhandener Gegenstand, und sendet wirklich Lichtstrahlen aus; es ist ein objectives Bild.

Fig. 355.

Versuch b. Die Lichtflamme werde dem Spiegel immer näher gerückt und sei ein wenig weiter von ihm entfernt, als sein Brennpunkt; sie stehe jedoch nicht im Brennpunkte selbst, weil nach dem vorhergehenden Paragraphen dann ein Lichtschimmer, aber kein Bild vor dem Spiegel entsteht. Je näher die Flamme G dem Brennpunkte gebracht wird, desto größer wird ihr Bild g. Man fange es auf einer größeren Papierfläche auf, es wird umgekehrt sein und sich in größerer Entfernung darstellen.

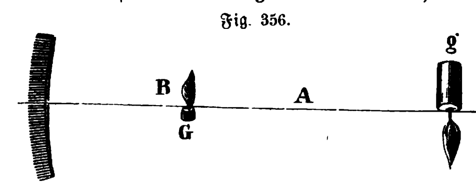


Fig. 356.

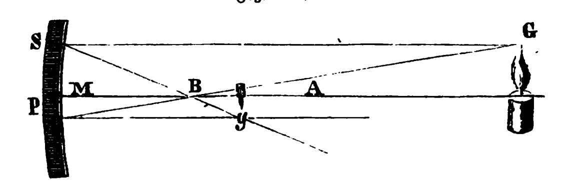
Von einem über den Brennpunkt hinaus entfernten Gegenstande entsteht vor dem Hohlspiegel ein umgekehrtes objectives Bild. Dies Bild ist bei größerer Entfernung des Gegenstandes verkleinert und dem Brennpunkte nahe, bei größerer Nähe des Gegenstandes vergrößert und entfernter.

Durch Hohlspiegel, die ½ M. Breite haben oder noch breiter sind, entstehen Bilder, die man nicht nöthig hat aufzufangen, sondern die sich frei in der Luft schwebend zeigen; daher sind von Taschenspielern Hohlspiegel zur Darstellung von Geistererscheinungen benutzt worden. Häufig wählt man als abzubildenden Gegenstand für größere Hohlspiegel einen umgekehrten Blumenstrauß und stellt an den Ort, wo das Bild entsteht, eine Vase, so daß die Zuschauer eine mit Blumen gefüllte Vase wahrnehmen.

Die Entstehung dieser Bilder erklärt sich aus dem Wege, den die von dem Gegenstande auf den Hohlspiegel fallenden Lichtstrahlen nach der Zurückwerfung einschlagen. Unter den zahlreichen von der Spitze der Lichtflamme G ausgehenden Strahlen (Fig. 357) geht ein Strahl GS parallel mit der Axe des Spiegels; nach dem vorhergehenden Paragraphen werden aber alle mit der Axe parallelen Strahlen durch den Brennpunkt zurückgeworfen; folglich nimmt jener Strahl nach der Zurückwerfung den Weg Sg durch den Brennpunkt B. Umgekehrt nimmt

ein anderer Strahl von der Spitze der Lichtflamme G seinen Weg durch den Brennpunkt B nach P; er wird, wie alle durch den Brennpunkt gehenden Strahlen, parallel mit der Axe zurückgeworfen und vereinigt sich mit dem ersten zurückgeworfenen Lichtstrahl in dem Punkte g, der unter der Axe liegt, wenn G sich über derselben befindet. In g zusammengekommen, gehen die Lichtstrahlen nach der rechten Seite weiter, durchaus eben so, wie sie von g ausgehen würden, wäre g ein Gegenstand selbst. Daher bildet sich die Spitze der Flamme in g ab. Ebenso läßt sich darthun, daß das untere Ende der Kerze sich über dem Punkte g abbilden, und deshalb das Bild verkehrt sein muß. — Ist der Gegenstand dem Spiegel näher, und befindet sich sein unterer Theil in dem Punkte g, so gehen von ihm Strahlen gP und gS nach dem Spiegel, der erste von ihnen Pg wird durch den Brennpunkt, der andere Sg parallel mit der Axe zurückgeworfen, beide vereinigen sich in dem Punkte G und bilden hier oben den unteren Theil des Gegenstandes g ab.

Fig. 357.

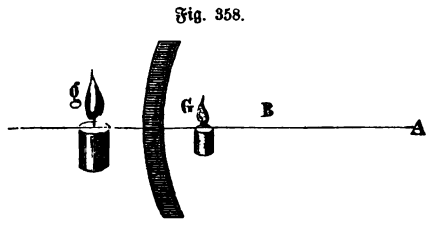


§. 306. Die von einem Hohlspiegel hervorgebrachten subjectiven Bilder.

Unter allen Arten von Spiegeln entstehen nur durch Hohlspiegel objective Bilder, aber auch durch sie nur in dem Falle, wenn der abzubildende Gegenstand über den Brennpunkt hinaus von dem Spiegel entfernt ist; steht der Gegenstand im Brennpunkte, so erscheint gar kein Bild; befindet sich endlich der Gegenstand zwischen Spiegel und Brennpunkt, so wird ein subjectives Bild gesehen.

Versuch. Eine Lichtflamme G werde dem Hohlspiegel so nahe gebracht, daß sie zwischen ihm und seinem Brennpunkte B aufgestellt ist. Man wird ein Bild g sehen, das sich von den bisher beobachteten durchaus unterscheidet. Erstlich ist es aufrecht, während die objectiven Bilder verkehrt sind, und zugleich vergrößert. Zweitens scheint es hinter dem Spiegel zu stehen, wie bei einem ebenen Spiegel, und vergebens würde man versuchen, das Bild aufzufangen. Nun gelangt aber kein Lichtstrahl von der Flamme wirklich hinter den Spiegel; die zurückgeworfenen Strahlen können sich folglich auch nicht hinter dem Spiegel

Fig. 358.

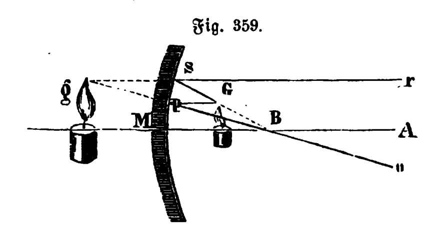


zu einem Bilde vereinigen; sondern sie erhalten durch die Zurückwerfung eine solche Richtung und machen auf das Auge einen solchen Eindruck, als gingen sie von Punkten aus, die hinter dem Spiegel liegen; das Bild ist darum drittens ein subjectives Bild.

Von einem zwischen dem Hohlspiegel und seinem Brennpunkte befindlichen Gegenstande sieht das Auge hinter dem Spiegel ein aufrechtes, vergrößertes Bild.

Die Lichtstrahlen, die von der Spitze G der Lichtflamme kommen, werden so zurückgeworfen, als kämen sie aus einem Punkte g hinter dem Spiegel. Unter den auffallenden Strahlen ist einer GP parallel mit der Axe des Spiegels und wird so zurückgeworfen, daß er von P, wo er den Hohlspiegel trifft, durch den Brennpunkt B nach o geht. Ein anderer Strahl GS hat eine solche Richtung, als käme er aus dem Brennpunkte; nach der Zurückwerfung ist er parallel mit der Axe und nimmt den Weg Sr. Ein Auge, das von den beiden zurückgeworfenen Strahlen rS und oP getroffen wird, muß den Punkt, von dem sie ausgehen, da suchen, wo sie zusammenzutreffen scheinen, in dem Punkte g hinter dem Spiegel; aber auch die andern von der Spitze der Kerzenflamme G auf den Spiegel fallenden Strahlen scheinen nach der Zurückwerfung aus g zu kommen, und ein vor dem Spiegel, etwa in o, befindliches Auge wird jedenfalls von mehreren derselben berührt und das Bild der Flamme in g sehen. Der Punkt g liegt höher über der Axe, als der Gegenstand G selbst; das Bild der Flamme ist daher aufrecht und vergrößert. Auf gleiche Weise läßt sich finden, wo dem Auge das Bild von dem unteren Theil der Kerze erscheinen wird.

Fig. 359.



§. 307. Erhabene Spiegel.

Hohlspiegel sind inwendig polirte Kugelstücke; erhabene Spiegel sind Stücke einer auswendig polirten Kugel.

Versuch. Zur Beobachtung der in erhabenen Spiegeln sich zeigenden Bilder wähle man einen blanken Metallknopf oder die Kugel an einem Thermometer. In welche Entfernung man auch den abzubildenden Gegenstand, der wieder eine Kerzenflamme sein mag, bringt, stets ist das Bild aufrecht und verkleinert; es scheint hinter dem Spiegel zu stehen, läßt sich nicht auffangen und ist stets subjectiv.

Häufig stellt man in den Gärten spiegelnde Glaskugeln auf, die als erhabene Spiegel wirken, und giebt ihnen inwendig entweder eine schwarze Belegung oder eine helle, metallglänzende. Die schwarze Belegung wird aus einem Gemenge von Ruß und Mehlkleister bereitet oder dadurch hergestellt, daß man eine Ruß gebende Flamme hineinschlagen läßt. Für

die bessere, metallische Belegung nimmt man gleiche Gewichtstheile Blei, Zinn und Wismuth, schmelzt diese Metalle in einem eisernen Löffel und nimmt die auf der Oberfläche sich zeigende graue Oxydschicht mit einem Löffel ab; kurz vor dem Festwerden setzt man der Mischung zwei Drittel ihres Gewichts Quecksilber zu. Die zu belegende Kugel aus weißem Glase, wie sie in kleineren Größen jede Glashandlung liefert, muß im Innern recht trocken sein; sie wird durch Eintauchen in warmes Wasser erwärmt und nach dem Einfüllen der Belegung, damit diese sich über die ganze innere Fläche vertheile, hin und her geschwenkt.

§. 308. Die strahlende Zurückwerfung.

Die meisten der uns umgebenden Körper sind nicht leuchtend und besitzen kein eigenes Licht, das sie dem Auge zusenden könnten. Wenn sie aber dem Auge gar kein Licht zusendeten, so würden sie auch gar nicht gesehen werden. Da wir sie jedoch wahrnehmen, so entsteht die Frage, wie es kommt, daß sie uns Lichtstrahlen zusenden.

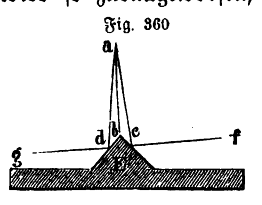
Versuch a. Zur Seite eines brennenden Lichtes stelle man am Abend einen Schirm, vielleicht ein Buch, auf, hinter welchem sich der Schatten ausbreiten wird. Diesen dunklen Raum könnte man dadurch erhellen, daß man in schräger Richtung über das Licht einen ebenen Spiegel hält. Die von der Flamme ausgehenden Strahlen würden von dem Spiegel zurückgeworfen werden, in den dunklen Raum des Schattens gelangen und ihn erhellen. Statt des Spiegels halte man aber ein Blatt weißes Papier schräg über die Flamme; leicht ist ihm eine solche Lage zu geben, daß die von ihm zurückgeworfenen Lichtstrahlen den Schatten erhellen. Sie gelangen aber dabei an Stellen, unter andern zur Rückseite des Schirmes, die sie nach dem Gesetze der Zurückwerfung unter einem ebenso großen Winkel, als der Einfallswinkel ist, nicht treffen sollten. An die Stelle des Papiers kann man mit ähnlichem Erfolge jeden anderen nicht polirten Körper bringen; von allen Körpern werden Lichtstrahlen zurückgeworfen; bei allen zugleich dieselbe Abweichung von dem einen Hauptgesetz der Zurückwerfung.

Versuch b. Indem man den Versuch §. 300a wiederholt, betrachte man die von den Lichtstrahlen getroffene Stelle des Spiegels von verschiedenen Seiten aus. Man wird die helle Stelle von allen Seiten aus wahrnehmen; und doch sollten die Strahlen nach dem ersten Gesetz der Zurückwerfung in derselben Ebene bleiben und nur auf der einen Seite das Auge treffen.

Beide Abweichungen sind nur scheinbar. Schon die Erscheinungen der Reibung §. 31 haben dargethan, daß die Oberfläche keines Körpers vollkommen eben und regelmäßig ist, sondern aus Reihen von Erhöhungen und Vertiefungen besteht. Es stelle E in vergrößertem Maßstabe eine solche Erhöhung auf der Oberfläche irgend eines Körpers vor. Wenn nun von dem leuchtenden Punkte a Licht auf dieselbe fällt, so wird der Strahl ab, der unter rechten Winkeln die Kante trifft, in derselben Richtung

zurückgeworfen; der Strahl ad, der die linke Seite der Erhabenheit trifft, wird so zurückgeworfen, daß ebenfalls der zurückgeworfene Strahl gd mit der Fläche einen ebenso großen Winkel macht, als der einfallende Strahl. Der in c auffallende Strahl wird nach rechts zurückgeworfen, die zwischen b und c auffallenden nach rechts oben, die zwischen b und d auffallenden Lichtstrahlen nach links oben. Die Erhöhung wirft die auffallenden Strahlen so zurück, daß sie nach allen Richtungen aus einander gehen, als kämen sie von einem selbstleuchtenden Punkte.

Fig. 360

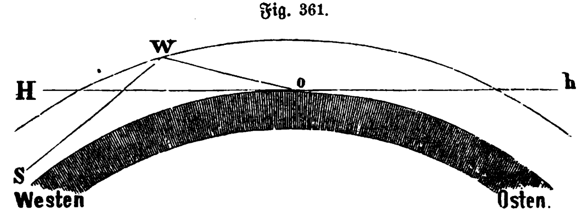


Weil durch die von den Erhöhungen und Vertiefungen an der Oberfläche der Körper hervorgebrachte Zurückwerfung nach allen Seiten hin Strahlen gesandt werden, wird diese Zurückwerfung die strahlende Zurückwerfung genannt; sie heißt auch die unregelmäßige Reflexion oder die Diffusion des Lichts, und das durch die Unebenheiten der Körper zurückgeworfene Licht wird diffuses Licht genannt. Die spiegelnde Zurückwerfung wird durch möglichst regelmäßige und polirte Flächen, die strahlende durch die Unregelmäßigkeiten und Unebenheiten hervorgebracht. Durch die spiegelnde Zurückwerfung entstehen Bilder, durch die strahlende werden uns die Gegenstände sichtbar. Eine Folge der strahlenden Zurückwerfung ist die allgemeine Tageshelle; so lange kein Sonnenlicht unmittelbar in unsere Wohnungen gelangt, würde es in denselben dunkel sein, wenn nicht das Sonnenlicht an den Gegenständen auf der Erdoberfläche und durch die in der Atmosphäre befindlichen Körper eine strahlende Zurückwerfung erlitte. Eine andere Folge der strahlenden Zurückwerfung ist die Dämmerung.

§. 309. Abend- und Morgendämmerung.

Die Dämmerung, der allmähliche Uebergang zwischen der Tageshelle und dem Dunkel der Nacht, wird durch die strahlende Zurückwerfung hervorgebracht, welche die Strahlen der unter dem Horizont stehenden Sonne durch die Atmosphäre erleiden. Wenn die Sonne untergeht und uns auf geradem Wege kein Licht mehr zusenden kann, so würde plötzlich die Finsterniß der Nacht hereinbrechen, wenn die Erde nicht mit einer Luft- und Dampf-Atmosphäre umhüllt wäre.

Fig. 361.



Am Abend sinkt die Sonne im Westen unter den Horizont Hh des Ortes o, und keiner ihrer Strahlen kann auf geradem Wege nach o ge-

langen. Wohl aber werden die Lufttheilchen und Wolken W am westlichen Himmel noch lange von den Strahlen der untergegangenen Sonne erreicht; sie werfen sie nach allen Seiten hin zurück, und eine Anzahl Lichtstrahlen schlägt den Weg SW und Wo ein. Weniger Licht wird nach den östlich von o liegenden Orten zurückgeworfen. Ebenso werfen am Morgen die Luftschichten des östlichen Himmels uns bereits Sonnenlicht zu, ehe dasselbe auf geradem Wege zu uns gelangen kann.

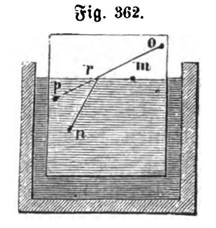
Gewöhnlich nimmt man an, daß die Dämmerung endet oder anfängt, wenn die Sonne 18 Grad unter dem Horizonte steht; ist sie am Abend bis zu dieser Tiefe hinabgesunken, so beginnen die Sterne sechster Größe sichtbar zu werden. Bei uns dauert in den längsten Sommertagen die Dämmerung die ganze Nacht hindurch, weil alsdann die Sonne nicht bis zu solcher Tiefe hinabsinkt; am kürzesten ist sie im März und October und währt in diesen Monaten ungefähr zwei Stunden. In der heißen Zone dauert die Dämmerung während der trocknen Jahreszeit, in welcher die Luft verhältnißmäßig wenig Wasserdämpfe enthält, nur eine Viertelstunde oder nur wenige Minuten. Dagegen hält sie in der dampferfüllten Atmosphäre der Polargegenden sehr lange an, und das an die Dunkelheit gewöhnte Auge nimmt dort leicht und freudig jeden durch Zurückwerfung zu ihm gelangenden Lichtschimmer wahr.

Die Brechung des Lichts.

§. 310. Das Gesetz über die Brechung des Lichts.

Versuch a. Einem Brettchen (oder Stück steifen Papiers) gebe man eine viereckige Gestalt und eine solche Breite, daß es sich in ein Trinkglas stellen läßt, und bezeichne darauf mit Bleistift oder Röthel drei Punkte o, m und n, die genau in einer geraden schrägen Linie liegen. Das Trinkglas wird mit Wasser gefüllt, und das Brett so gehalten, daß es bis zu dem Punkte m eintaucht. Der Punkt n, der sich unter Wasser befindet, sendet Lichtstrahlen aus, und diese gelangen in das bei o befindliche Auge. Nähme das Licht seinen Weg bloß durch die Luft oder nur durch Wasser, so würde es sich in geradliniger Bahn von n über m nach o bewegen, und der Punkt n würde dem Auge hinter m erscheinen. Geändert wird der Weg des Lichts aber dadurch, daß es aus einem durchsichtigen Stoffe, dem Wasser, in einen anderen, die Luft, gelangt; an der Oberfläche des Wassers ändert es seine Richtung, und der von n nach m kommende Lichtstrahl schlägt hier einen so schrägen Weg ein, daß er unter dem Auge weggeht. Dagegen trifft ein Lichtstrahl nr die

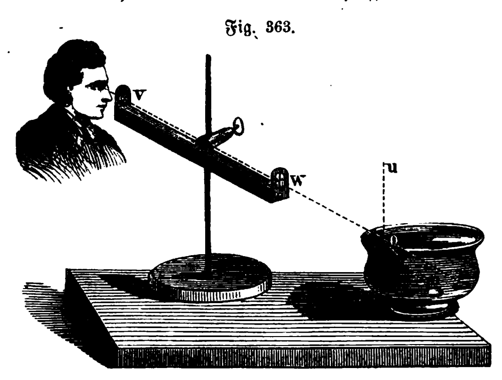
Fig. 362.



Wasseroberfläche in r, nimmt hier eine schrägere Richtung und gelangt in der Linie ro ins Auge. Allemal sucht aber das Auge einen Punkt in der Richtung der ihm zugesandten Strahlen und sieht darum den Punkt n in der Richtung or an einer höher gelegenen Stelle p. Der Lichtstrahl nr hat beim Eintritt in die Luft seine Richtung geändert, oder er ist gebrochen worden, und nach dieser Brechung weicht er mehr von der senkrechten Richtung ab, als zuvor.

Versuch b. Auf den Boden einer Schüssel mit undurchsichtigen Wänden lege oder klebe man mit Wachs ein Geldstück, entferne sich fast 1 M. und gebe dem Auge eine solche Stellung, daß ihm die Münze so eben durch den Rand der Schüssel verdeckt wird und ihm auf geradem Wege keinen Lichtstrahl zusenden kann. Während das Auge in dieser Stellung verharrt, lasse man durch einen Andern langsam Wasser in das Gefäß gießen, wodurch die Münze nicht aus ihrer Lage gebracht werden darf. Alsbald wird die Münze dem Beobachter sichtbar und scheint eine höhere Stellung einzunehmen, als wirklich der Fall ist. Die von ihr ausgehenden Strahlen werden beim Eintritt in die Luft so gebrochen, daß sie noch mehr von der senkrechten Linie abweichen, und gelangen in das seine vorige Stellung nicht verändernde Auge. Die Richtung owv, in welcher, ehe Wasser eingegossen ward, von der Münze m kein Licht ins Auge gelangt, kann man durch ein drehbares Lineal, das in der Nähe des Auges in einem lothrechten Blech eine Oeffnung v hat und an seinem andern Ende w ein Drahtkreuz trägt, feststellen. Man bedarf dann keines Gehülfen und kann selbst Wasser in die Schüssel gießen. Nun geht von der Münze m das Licht nach o, weicht in der Luft mehr von dem senkrechten Strahl uo ab und nimmt den Weg owv.

Fig. 363.



Versuch c. Unter ein mit Wasser gefülltes Trinkglas wird ein von geraden Linien begrenzter Streifen Papier dergestalt gelegt, daß auf der von dem Beobachter abgewandten Seite der Boden des Glases über den Streifen hervorragt. Das Auge schaue von oben schräg in das Glas hinein. Der durch das Wasser betrachtete Rand des Papiers wird durch die Brechung der Lichtstrahlen gehoben erscheinen, und das um so deutlicher, da man damit seine wirkliche Lage neben dem Glase vergleichen kann. Befindet sich das Auge über dem Wasser, lothrecht über dem Rand des Papiers, so erscheint er da, wo er wirklich ist. Wenn Lichtstrahlen aus einem durchsichtigen Stoffe in einen andern übergehen und auf die Trennungsfläche rechtwinklig auffallen, so werden sie nicht gebrochen.

Versuch d. Man stelle in schräger Richtung in ein mit Wasser gefülltes Glas ein gerades Stäbchen, etwa einen Bleistift. Betrachtet man es, indem man an seinen höchsten Punkt das Auge legt, so erscheint es gebrochen; alle eingetauchten Punkte scheinen wegen der Strahlenbrechung höher zu liegen, als es wirklich der Fall ist.

Fig. 364.

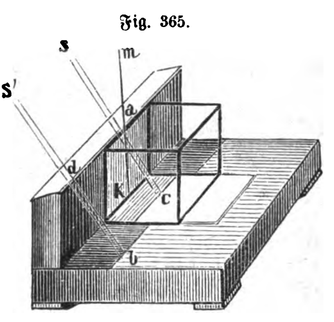


Dasselbe ist leicht an jedem schräg in einen Fluß gestemmten Ruder wahrzunehmen; Fische scheinen dem sie in schräger Richtung erblickenden Auge zu nahe der Oberfläche des Wassers; Teiche und Bäche, deren Grund man sehen kann, hält man für zu flach, und in den klaren Gewässern der heißen Zone ist die durch die Brechung hervorgebrachte Täuschung so bedeutend, daß man unter dem Wasserspiegel wachsende Seepflanzen, die von den längsten Rudern noch nicht berührt werden, häufig fast mit der Hand meint erreichen zu können.

Stellt man einen Stab lothrecht ins Wasser, so erscheint er dem darüber befindlichen Auge als nicht gebrochen.

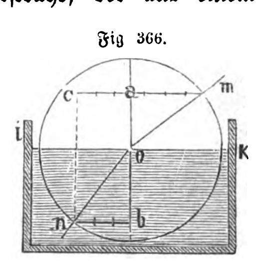
Versuch e. In den vorhergehenden Versuchen ging der Lichtstrahl stets aus einem dichteren Stoffe in einen weniger dichten, aus Wasser in Luft; umgekehrt kann aber das Licht auch aus einem weniger dichten in einen dichteren durchsichtigen Körper übergehen. An einem von den Sonnenstrahlen beschienenen Platze stelle man hinter ein lothrechtes Brett ein Wasser enthaltendes Glas, am besten einen aus Glasscheiben zusammengekitteten würfelförmigen Kasten; das Papier wirft einen Schatten, der in dem Glase kürzer ist, als neben demselben. Die den Schatten begrenzenden Strahlen nehmen in der Luft einen andern Weg, als wenn sie in schräger Richtung aus Luft in Wasser treten; in dem dichteren Körper, dem Wasser, nähern sie sich der lothrechten Richtung mehr. Bei sorgfältiger Beobachtung ist der Schatten in einem gewöhnlichen Trinkglase wahrzunehmen; doch fällt der Versuch durch Anwendung eines viereckigen Glaskastens oder eines massiven Glaswürfels ungleich deutlicher aus.

Fig. 365.



Aus diesen Versuchen erhellt, daß ein Lichtstrahl, der aus einem durchsichtigen Stoffe in einen andern übergeht, seine Richtung in dem einen Falle nicht ändert oder ungebrochen hindurchgeht, wenn er die Trennungsfläche rechtwinklig trifft. Den rechtwinklig auffallenden Strahl ab nennt man das Einfallsloth für den getroffenen Punkt o. Sobald ein Lichtstrahl schräg auf einen andern durchsichtigen Stoff auffällt, ändert er seine Richtung oder wird gebrochen. Indem er,

Fig 366.

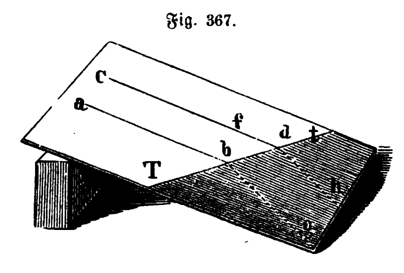


wie Versuch a gelehrt hat, in derselben auf der Trennungsfläche lothrechten Ebene bleibt, wird der Strahl mo beim Uebergang in den dichteren Körper so gebrochen, daß er von dem Einfallslothe weniger abweicht, er wird ihm zugebrochen und gelangt nach n. Kommt aber ein Strahl no bei dem Punkte o in einen weniger dichten Körper, so weicht er nach der Brechung mehr von dem Einfallslothe ab und schlägt den Weg om ein.

Gesetz: Geht ein schräg auffallender Lichtstrahl in einen dichteren durchsichtigen Körper über, so wird er in diesem dem Einfallslothe zugebrochen; geht er in einen dünneren Körper über, so wird er in diesem vom Einfallslothe hinweggebrochen.

Die Erscheinungen der Strahlenbrechung oder Refraction erklären sich daraus, daß das Licht in den dichteren Körpern sich mit einer geringeren Geschwindigkeit fortbewegt, als in den weniger dichten. In Folge dessen muß ein schräg auffallendes Strahlenbündel an der Trennungsfläche eine Schwenkung erleiden, wie folgender Versuch darthut. Man bedecke den unteren Theil einer schiefen Ebene mit einem gespannt gehaltenen glatten Tuche, doch so, daß die obere Kante des Tuches Tt schräg über die schiefe Ebene läuft; eine hinabrollende Walze bewegt sich auf dem Tuche mit geringerer Geschwindigkeit fort als auf dem höheren Theil der schiefen Ebene, ähnlich wie die Lichtstrahlen in einem dichteren Stoffe. Ein rundes Stäbchen werde oben auf die Ebene gelegt; es rollt abwärts und trifft schräg auf die Trennungsfläche Tt; sein eines Ende ist in dem Punkte b und bewegt sich langsam, während sein anderes Ende noch in f ist und schneller fortschreitet. Darum schwenkt das ganze Stäbchen, und seine Enden durchlaufen nun die Linien bg und dh. Hätte es die Trennungsfläche unter rechten Winkeln getroffen, so würde keine Schwenkung erfolgt sein. Es sei Tt die Grenze zwischen einem gebahnten Wege und einem gepflügten Ackerfelde; in den Richtungen ab und cd komme ein Reiterregiment im Trabe daher. Auf dem Felde angelangt, gehen die Pferde nur Schritt. Da das Regiment in schräger Richtung gegen die Grenze des Feldes anrückt, reitet der eine Flügel von f nach d noch im Trabe, während der andere, in b früher auf das Feld gekommen, schon langsam vorrückt. Durch dies schnellere Vorrücken des einen Flügels wird die Stellung der ganzen Colonne eine andere, sie schwenkt und setzt in den Bahnen dh und bg ihren Marsch fort. Wäre sie unter rechten Winkeln auf das Feld gestoßen, so wäre keine Ursache zur Schwenkung dagewesen. So gehen auch die unter rechten Winkeln auffallenden Strahlen ungebrochen weiter, wogegen schräg auffallende eine Brechung erfahren müssen.

Fig. 367.

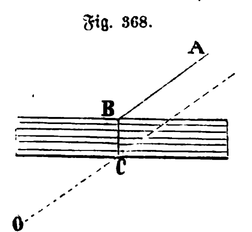


§. 311. Brechung durch ebene Glasscheiben.

Wie bei der Zurückwerfung des Lichts ebene, erhabene und Hohlspiegel verschiedene Erscheinungen bewirken, so werden die Lichtstrahlen bei ihrem Durchgange durch ebene Glasscheiben anders gebrochen, als durch erhabene und durch Hohlgläser.

Ein Lichtstrahl, der schräg durch das Glas hindurchgeht, tritt aus der Luft in das Glas und aus dem Glase wieder in die Luft und muß sowohl bei seinem Eintritt in das Glas. als beim Austritt aus demselben eine Brechung erleiden. Der von dem Punkte A kommende Strahl AB falle in B schräg auf eine dicke ebene Glasplatte mit parallelen Grenzflächen; in das Glas eintretend, wird er dem Einfallslothe zugebrochen und nimmt den Weg BC; in dem Punkte C aber, wo er in die weniger dichte Luft austritt, wird er ebenso sehr von dem Einfallslothe hinweggebrochen und gelangt von C nach O, wobei OC gleichlaufend mit AB ist. Wenn daher ein Lichtstrahl durch eine ebene Glasscheibe hindurchgeht, so ist der austretende Strahl gleichlaufend mit dem einfallenden. Ein in O befindliches Auge glaubt den Punkt A an der Stelle a zu sehen; alle Gegenstände erscheinen ihm nicht genau an ihrem wahren Standpunkte, sondern ein wenig davon hinweggerückt. Sind die Glasscheiben von geringer Dicke, wie unsere Fensterscheiben, so ist diese Verschiebung gering und nur dann in Betracht zu ziehen, wenn man sehr schräg hindurch sieht.

Fig. 368.



Versuch. Auf einem wagerecht liegenden Papier sei eine gerade Linie von der linken nach der rechten Seite des Beobachters gezogen, und über einem Theile der Linie liege ein Stück Fensterglas. Dem lothrecht darüber befindlichen Auge erscheint die gezogene Linie als vollkommen gerade, und dies ist selbst noch der Fall, wenn das Auge ziemlich schräg hindurch sieht. Schaut es aber, indem es nur wenig höher gehalten wird, als das Papier, doch 1 M. und darüber entfernt, sehr schräg auf die Linie, so erscheint der von dem Glase bedeckte Theil höher, aber vollkommen gerade.

§. 312. Die erhabenen Gläser als Brenngläser und als Beleuchtungsgläser.

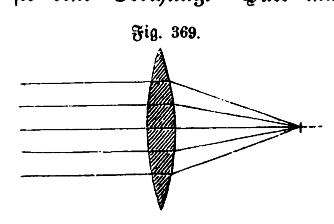
Wichtige Erscheinungen der Brechung werden durch Gläser mit kugelförmig gekrümmten Oberflächen hervorgebracht, die nach der Gestalt des auf beiden Seiten erhabenen Glases auch Linsen oder Linsengläser heißen. Sämmtliche Linsen zerfallen in zwei Klassen. Entweder sind sie in der Mitte dicker, als am Rande und, gewöhnlich auf beiden Seiten, erhaben geschliffen; sie heißen dann erhabene Gläser oder

Convexlinsen. Oder die Gläser sind in der Mitte dünner, als am Rande und, gewöhnlich auf beiden Seiten, kugelförmig vertieft oder hohlgeschliffen; sie heißen alsdann Hohlgläser oder Concavlinsen.

Versuch a. Man verschaffe sich ein auf beiden Seiten gleich stark erhabenes Glas, ein sogenanntes Brennglas, das auch für die folgenden Versuche am geeignetsten ist. Die erhabenen Flächen sind Stücke von Kugelflächen. Eine gerade Linie, welche durch die Mittelpunkte beider Kugeln und die Mitte des Glases geht, oder ein Lichtstrahl, der rechtwinklig durch die Mitte des Glases geht, heißt seine Axe.

Man richte das erhabene Glas gegen die Sonne und gebe ihm eine solche Stellung, daß die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen. Beim Eintritt in das Glas und beim Austritt aus demselben erleiden sie eine Brechung. Hält man hinter das Glas ein Stück Papier, um die gebrochenen Strahlen aufzufangen, so zeigt sich darauf ein blendend heller Kreis, kleiner, als das Brennglas. Mithin werden die Strahlen einander genähert und in einen kleineren Raum vereinigt. Man gebe dem Papier eine solche Entfernung von dem Glase, daß der helle Kreis sich zu einem lichten Punkte verkleinert. In diesem Punkte, dem Brennpunkte, vereinigen sich alle durch die Linse gehenden Sonnenstrahlen, üben zusammen in ihm ihre erwärmende Kraft aus und bewirken eine brennende Hitze. Das Papier entzündet sich in dem Brennpunkt, und desto um so leichter, je dunkler es gefärbt ist. Wendet man die andere erhabene Fläche der Linse den Sonnenstrahlen zu, so erfolgt dieselbe Erscheinung; jedes erhabene Glas hat daher auf jeder Seite einen Brennpunkt. Zugleich messe man die Entfernung des Brennpunktes vom Glase. Die Entfernung des Brennpunktes von der Linse heißt die Brennweite.

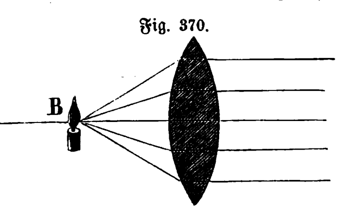
Fig. 369.



Die erhabene Linse wirkt darum als **Brennglas**, weil alle mit der Axe parallelen Strahlen so gebrochen werden, daß sie sich in dem Brennpunkte vereinigen. Die Wirkungen der erhabenen Gläser sind denen der Hohlspiegel zu vergleichen.

Versuch b. Die umgekehrte Erscheinung tritt ein, wenn die Lichtstrahlen von dem Brennpunkte ausgehen. In dem Brennpunkte B werde eine kleine Lichtflamme aufgestellt. Die ganze Linse erscheint mit einem hellen Lichtschimmer angefüllt. Wurden im Versuch a die parallel mit der Axe auffallenden Strahlen nach dem Brennpunkte hingebrochen, so werden umgekehrt die vom Brennpunkte aus einfallenden Strahlen durch die Brechung mit der Axe parallel. Daher läßt sich die erhabene Linse als Beleuchtungslinse anwenden.

Fig. 370.



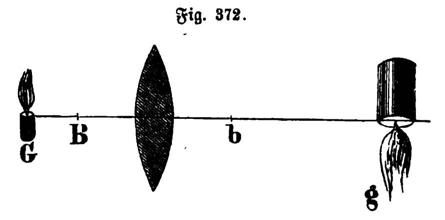
§. 313. Die durch ein erhabenes Glas hervorgebrachten objectiven Bilder.

Versuch a. Um die durch erhabene Gläser hervorgebrachten Bilder zu beobachten, diene das für die vorhergehenden Versuche gebrauchte Brennglas, und als Gegenstand G eine brennende Kerze, die 1 Meter von dem Glase entfernt sei. Man wird ein umgekehrtes und verkleinertes Bild g wahrnehmen. Auf einem Blatt weißen Papiers oder auf einem Stück durchscheinenden Seidenpapiers werde dasselbe aufgefangen. Leicht läßt sich die Entfernung finden, in welcher man das Papier von dem mit der einen Hand gehaltenen Glase mit der andern halten muß, damit das Bild deutlich sei. Das Bild entsteht nicht weit von dem Brennpunkt b, hat ganz die Eigenschaften eines gemalten Bildes und ist ein wirkliches, objectives Bild.

Fig. 371.

Versuch b. Die Lichtflamme G werde der Linse immer näher gerückt und sei von ihr nur noch ein wenig weiter entfernt, als ihr Brennpunkt B; sie stehe jedoch nicht im Brennpunkte selbst, weil dann nach dem vorhergehenden Paragraphen kein Bild, sondern nur ein Lichtschimmer entsteht. Je näher die Flamme G dem Brennpunkte gebracht wird, desto größer wird ihr Bild g, und desto weiter muß man das Papier von der Linse entfernen, um es aufzufangen.

Fig. 372.

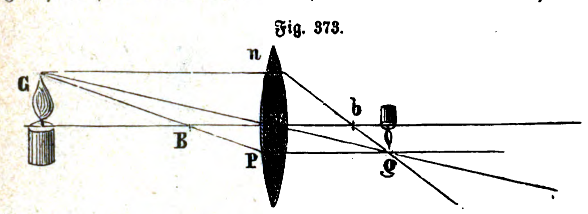


Von einem über den Brennpunkt hinaus entfernten Gegenstande entsteht durch ein erhabenes Glas ein umgekehrtes objectives Bild. Dies Bild ist bei größerer Entfernung des Gegenstandes verkleinert und dem andern Brennpunkt nahe, bei größerer Nähe des Gegenstandes vergrößert und entfernter.

Wie bei den verwandten Erscheinungen durch Hohlspiegel, erklärt sich die Entstehung dieser Bilder aus dem Wege, den die von dem Gegenstande auf das Glas fallenden Lichtstrahlen einschlagen, nachdem sie durch dasselbe eine Brechung erlitten haben. Unter den vielen von der Spitze G der Lichtflamme ausgehenden Strahlen sind es drei, deren Gang leicht zu verfolgen ist: 1) Der der Axe parallele Strahl Gn wird, wie alle parallel mit der Axe auffallenden Strahlen, so gebrochen, daß er von n durch den Brennpunkt b geht. 2) Umgekehrt nimmt ein anderer Lichtstrahl von der Lichtflamme seinen Weg durch den Brennpunkt B; er fällt von dem Brennpunkte aus in dem Punkte p auf die Linse und wird nach dem vorigen Paragraphen so gebrochen, daß er von p parallel mit der

Axe weiter geht. 3) Ein dritter Strahl geht von dem Gegenstande G durch die Mitte der Linse T; hier sind ihre erhabenen Flächen ziemlich mit einander gleichlaufend; daher geht nach §. 311 dieser Strahl so gut wie ungebrochen hindurch. Alle drei Strahlen durchschneiden sich in dem Vereinigungspunkte g, der unter der Axe liegt, wenn G sich über ihr befindet, und der Axe näher liegt, als G. Daher entsteht in g ein umgekehrtes, verkleinertes Bild, von dem die Strahlen ebenso weiter gehen, als kämen sie von ihm selbst. Eben läßt sich darthun, daß sich der untere Theil der Kerze über g, ebenfalls näher der Axe, ab bilden muß. —

Fig. 373.



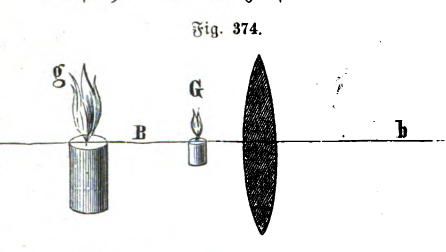
Ist der Gegenstand dem Glase näher, ist g, das wir bisher als Bild angesehen haben, der Gegenstand, so sendet er aus 1) den der Axe parallelen Strahl gp, der durch den Brennpunkt B geht, 2) den durch den Brennpunkt b gehenden Strahl, welcher den der Axe parallelen Weg einschlägt, und 3) den durch die Mitte der Linse gehenden Strahl gT, der sich mit den beiden andern in G vereinigt. Der Punkt G liegt aber über der Axe und weiter von ihr und dem Glase entfernt, weshalb das Bild umgekehrt, vergrößert und entfernter ist.

§. 314. Die durch ein erhabenes Glas hervorgebrachten subjectiven Bilder.

Unter allen Arten geschliffener Gläser entstehen nur durch erhabene Linsen objective Bilder, aber auch durch sie nur in dem Falle, wenn der abzubildende Gegenstand über den Brennpunkt hinaus von dem Glase entfernt ist; steht der Gegenstand im Brennpunkte, so erscheint gar kein Bild; befindet sich endlich der Gegenstand zwischen Glas und Brennpunkt, so wird ein subjectives Bild gesehen.

Versuch. Die Kerzenflamme G werde dem erhabenen Glase so nahe gebracht, daß sie zwischen ihm und seinem einen Brennpunkte B aufgestellt ist. Das Auge befindet sich nicht weit von der Linse; es nimmt ein vergrößertes Bild wahr, das von der Linse entfernter ist, als der Gegenstand. Man nehme die Linse, ohne sich sonst zu bewegen, von dem Auge weg und wird sogleich die Beobachtung machen, daß die Flamme dem Auge wirklich näher ist, als

Fig. 374.

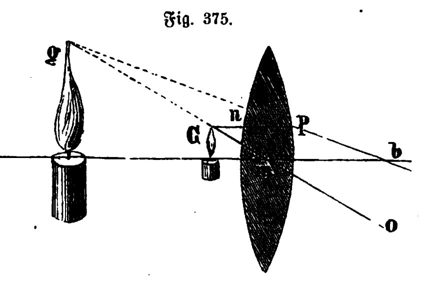


sie, durch das Glas betrachtet, zu sein schien. Dies vermeintliche Bild unterscheidet sich von den objectiven Bildern durch seine aufrechte Stellung und durch seinen Standpunkt auf derselben Seite des Glases, auf welcher der Gegenstand selbst sich befindet. Auf diese Seite gelangen die gebrochenen Strahlen durchaus nicht, können sich daher auch nicht hier zu einem wirklichen Bilde vereinigen; sondern das Bild ist ein subjectives Bild.

Jeder zwischen dem erhabenen Glase und seinem einen Brennpunkte befindliche Gegenstand erscheint dem hindurchsehenden Auge aufrecht, vergrößert und in weiterer Entfernung.

Die Lichtstrahlen, welche von der Spitze der Lichtflamme G ausgehen, werden durch die Brechung so abgelenkt, daß sie dem Auge aus dem Punkte g zu kommen scheinen. Unter den auffallenden Strahlen ist einer Gn parallel mit der Axe und hat nach der Brechung die Richtung pb durch den Brennpunkt b. Ein zweiter Strahl Gm geht durch die Mitte der Linse ungebrochen nach dem Punkte o. Ein Auge, das von den beiden Strahlen getroffen wird, muß den Punkt, von dem sie ausgehen, da suchen, wo sie zusammenzutreffen scheinen, in dem Punkte g; aber auch alle andern von der Spitze G der Flamme auf die Linse fallenden Strahlen scheinen nach der Brechung aus g zu kommen; ein nahe vor der Linse, etwas über o, befindliches Auge wird jedenfalls von mehreren derselben berührt, und ihm erscheint der höchste Punkt G des Gegenstandes in g. Der Gegenstand stellt sich darum aufrecht und entfernter von der Linse dar, und zugleich größer, da g weiter von der Axe entfernt sich zeigt, als G, was auch mit dem unteren Theil der Kerze der Fall ist.

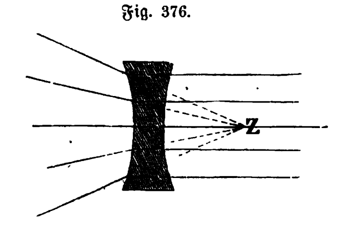
Fig. 375.



§. 315. Erscheinungen durch Hohlgläser.

Versuch a. Hohlgläser oder Concavlinsen finden sich in den Brillen oder Lorgnetten für Kurzsichtige, und es lassen sich die Versuche mit ihnen anstellen, ohne daß sie aus ihrer Fassung genommen werden. Man lasse die Sonnenstrahlen durch ein Hohlglas gehen und halte dahinter ein Blatt weißes Papier. Auf demselben stellt sich eine wenig erhellte Fläche dar, umgeben von einem helleren Rande. Das Hohlglas lenkt folglich die parallelen Sonnenstrahlen so durch die Brechung ab, daß sich in dem Raume hinter ihm weniger Licht befindet, als zuvor, ringsherum aber

Fig. 376.



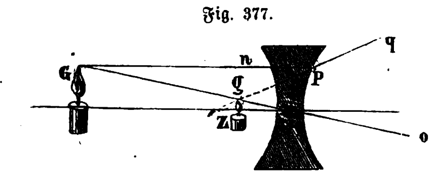
desto mehr. Die parallel mit der Axe auffallenden Strahlen werden durch ein Hohlglas zerstreut; sie werden weiter von einander entfernt und laufen so auseinander, als kämen sie alle aus einem Punkte Z, den man den Zerstreuungspunkt nennt. Diese Erscheinung ist der durch ein erhabenes Glas hervorgebrachten entgegengesetzt; das erhabene Glas sammelt die Sonnenstrahlen in einen Punkt, das Hohlglas zerstreut sie, als kämen sie aus einem Punkte. Die Entfernung des Zerstreuungspunktes von dem Hohlglase heißt die Zerstreuungsweite.

Versuch b. Da die Hohlgläser die Strahlen nicht wirklich vereinigen, können sie auch keine wirklichen Bilder darstellen, sondern nur scheinbare. Beobachtet man, indem man das eine Auge schließt, mit dem andern durch das Hohlglas aus der Entfernung von etwa 1 M. eine brennende Kerze, so erscheint diese aufrecht und verkleinert. Um den Ort, wo die Kerze erscheint, zu ermitteln, betrachte man sie eine Zeit lang unverwandt durch das Glas und schiebe dies darauf schnell vom Auge abwärts. Das Licht selbst ist weiter entfernt, als es, durch das Glas betrachtet, aussieht.

Durch ein Hohlglas betrachtet, erscheinen alle Gegenstände aufrecht, verkleinert und näher.

Von dem höchsten Punkte G des Gegenstandes geht ein Lichtstrahl Go ungebrochen durch die Mitte der Linse, wo ihre Flächen nahe einander parallel sind; das durch die Linse sehende Auge muß daher die Spitze der Flamme in irgend einem Punkte der Linie oG suchen. Ein zweiter Lichtstrahl nimmt von G aus einen der Axe parallelen Weg Gn und wird nach Versuch a so gebrochen, daß er die Richtung pq einschlägt, als käme er aus dem Zerstreuungspunkte Z. Das Auge, das die beiden gebrochenen Strahlen pq und mo empfängt, glaubt sie aus ihrem Durchschnittspunkte g zu erhalten und sieht den Grenzpunkt des Gegenstandes nicht in G, sondern näher in g auf derselben Seite der Axe und darum aufrecht, der Axe näher und darum verkleinert.

Fig. 377.

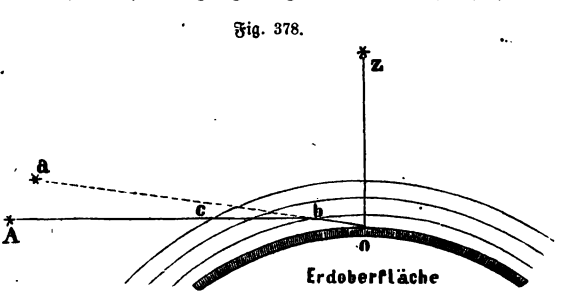


§. 316. Die astronomische Strahlenbrechung und die Fata Morgana.

Die Schichten der die Erde umgebenden Luft sind von ungleicher Dichte; an der höchsten Grenze der Atmosphäre am dünnsten, nehmen sie an Dichte zu, je näher sie der Erdoberfläche sind. Jeder von einem Himmelskörper zu uns gelangende Lichtstrahl geht daher durch Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit und muß, falls er schräg auffällt, in jeder eine Brechung erleiden. An der Grenze der Atmosphäre erfährt

der von einem Stern A ausgesandte Strahl Ac die erste Ablenkung von seinem geraden Wege und wird, da er aus dem leeren Weltraum in einen dichteren Körper eintritt, nach dem Einfallslothe hin gebrochen; in der folgenden, dichteren Luftschicht nähert er sich noch mehr der lothrechten Richtung und wird immer weniger schräg, bis er in der Richtung bO in das an dem Orte O befindliche Auge gelangt. Das Auge sieht den Stern in der Richtung, in welcher der Strahl zu ihm gelangt, in der Richtung Ob, und nimmt ihn in dem Punkte a wahr. Daher erscheinen stets die Sterne in der Nähe des Horizonts zu hoch.

Fig. 378.



Dasselbe gilt von Sonne und Mond, wir sehen beide, wenn sie bereits untergegangen sind, und ehe sie aufgehen; daher hat man bei einer Mondfinsterniß, obwohl die Erde sich in gerader Linie zwischen Sonne und Mond befand, diese beiden Himmelskörper zugleich über dem Horizont gesehen. Steht ein Himmelskörper dagegen senkrecht über dem Beobachter, in Z, so treffen die von ihm ausgesandten Lichtstrahlen die Luftschichten rechtwinklig, werden nicht gebrochen und lassen den Stern an seinem wirklichen Orte erscheinen.

Die Strahlenbrechung tritt auch bei entfernten irdischen Gegenständen ein und läßt, wenn sie bei dampferfüllter, warmer und klarer Luft ungewöhnlich stark wird, Küsten und Schiffe, die unter dem Horizont sich befinden, so hoch erscheinen, daß sie dem Beobachter sichtbar werden. So sieht man von England aus bisweilen die französische Küste, obwohl die gerade Linie zwischen beiden Punkten die See durchschneiden würde. Nicht selten werden an der Küste Unteritaliens die berühmten Erscheinungen der Fata Morgana wahrgenommen. Von einer Anhöhe der Stadt Reggio aus erblickt man prachtvolle Schlösser, regelmäßige Säulengänge, hohe Thürme, Wiesen mit Heerden und Menschenmassen zu Fuß und zu Pferde; das Zauberbild währt nur eine kurze Zeit und entsteht wahrscheinlich dadurch, daß eine ungewöhnlich starke Strahlenbrechung die Stadt Messina und deren Umgebung auf kurze Zeit sichtbar macht.

§. 317. Die vollständige Zurückwerfung.

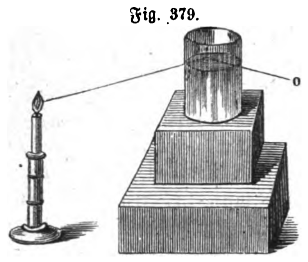
Wenn ein Lichtstrahl in schräger Richtung aus einem dichteren Stoffe in einen weniger dichten, aus Wasser in Luft, übergeht, so wird er vom Einfallslothe hinweggebrochen und weicht in der Luft mehr von dem Einfallslothe ab, als im Wasser. Ein Strahl, der im Wasser um 48 Grad vom Einfallslothe abweicht, weicht in der Luft schon 90 Grad

von ihm ab und geht längs der Wasseroberfläche wagerecht dahin. Welchen Weg nehmen aber solche Lichtstrahlen, die im Wasser einen *größeren* Winkel als 48 Grad, mit dem Einfallslothe machen?

Versuch a. Auswendig oben an ein mit Wasser gefülltes Glas halte man einen Schlüssel. Das Auge befinde sich lothrecht über der Mitte des Glases; es *nimmt den Schlüssel nicht wahr*. Wohl gehen von dem Gegenstande Lichtstrahlen in das Wasser; aber sie sind zu schräg, können aus dem Wasser nicht in die Luft austreten und kommen nicht ins Auge.

Versuch b. Das mit Wasser gefüllte Glas werde so hoch gestellt, daß sein Boden in wagerechter Linie mit einer Kerzenflamme liege; von derselben stehe es mehrere Cm. entfernt. Es gelangen Lichtstrahlen sehr schräg von der Kerze bis zur Wasseroberfläche. Bringt man nun das Auge auf die entgegengesetzte Seite des Glases, an die Stelle o und schaut man zu dem Wasserspiegel hinauf, so empfindet man den hellen Glanz der von dort kommenden Lichtstrahlen. Die Strahlen, von denen keiner durch Brechung aus dem Wasser austreten kann, werden sämmtlich von seiner Oberfläche *zurückgeworfen* und so vollständig gespiegelt, wie es durch keinen Spiegel der Fall ist.

Fig. 379.



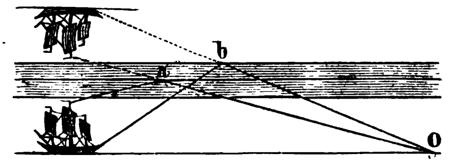
Versuch c. Aus einem Stück Papier werde etwas herausgeschnitten, etwa so, daß die Oeffnung die Figur eines Kreuzes darstellt. Man lege das Papier auswendig um ein gefülltes Glas; die ausgeschnittene Stelle befinde sich nahe unter dem Wasserspiegel, auf der einer Kerze oder dem Tageslichte zugewandten Seite. Das auf der anderen Seite schräg durch die Flüssigkeit zu ihrer Oberfläche hinaufschauende Auge erblickt ein helles Kreuz als *Spiegelbild*; es ist *umgekehrt* und befindet sich über dem Gegenstande.

Versuch d. In ein Glas mit Wasser tauche man in schräger Lage einen Probircylinder, in welchem wenig Wasser enthalten ist. Sieht man von obenher darauf, so erscheint der Cylinder mit einem Metallglanze spiegelnd, gleich als wäre er mit Quecksilber gefüllt. Nur an seinem unteren Ende, wo Wasser ist, zeigt er sich durchsichtig. Die von links her durch das Wasser im Glase gehenden Strahlen des Tageslichtes fallen so schräg ein, daß sie nicht in die Luft des Cylinders treten können; sie werden vollkommen gespiegelt, nach oben zurückgeworfen und verleihen dem Cylinder den Metallglanz. — Eine Anwendung von der vollständigen inneren Zurückwerfung (oder totalen *Reflexion*) wird beim *Schleifen der Edelsteine* gemacht, deren Oberfläche eine solche Form erhält, daß die Strahlen aus dem Steine nicht durch gewöhnliche Brechung, sondern durch Spiegelung unter funkelndem Glanz in die Luft austreten.

§. 318. Die Luftspiegelung.

Während das Sichtbarwerden entfernter, unter dem Horizont liegender Gegenstände seinen Grund in einer ungewöhnlich starken Strahlenbrechung hat, entstehen die Erscheinungen der Luftspiegelung durch eine vollständige Zurückwerfung der Strahlen; sie fallen über dem Meere anders aus, als über weiten Landstrecken. Auf der See oder am Gestade erblickt man zuweilen, ähnlich wie in §. 317 c, über einem in großer Entfernung dahinsegelnden Schiffe ein umgekehrtes Bild desselben. Spiegelbild und Gegenstand sind hin und wieder einander so nahe, daß sie sich mit den Masten berühren. Seefahrer haben die Beobachtung gemacht, daß bei dem Erscheinen eines solchen Luftbildes das Thermometer an der Spitze des Mastbaumes viel höher steht, als unten, auf dem Verdeck; über dem Schiffe befindet sich eine weit wärmere und dünnere Luftschicht; das Schiff selbst und das Auge O des Beobachters sind in der kälteren und dichteren Luftschicht, die unten auf dem frischen Meere ruht. Daher nimmt das Auge das Schiff einmal, wie sonst, durch ungebrochene Strahlen wahr. Aber durch die vollständige Zurückwerfung an den oberen, dünneren Luftschichten gelangen auch Strahlen ins Auge, die in dasselbe bei gewöhnlichem Zustande der Luft nimmermehr gekommen wären. Der von den Mastspitzen sehr schräg bei dem Punkte a gegen die dünnere Luftmasse sich bewegende Strahl wird von ihr nach O zurückgeworfen, und das Auge schaut in der Richtung Oa ein Bild der Mastspitzen. Die von dem unteren Theil des Schiffes kommenden Lichtstrahlen treffen erst eine höhere Luftschicht in dem Punkte b so schief, daß sie zurückgeworfen werden und in der Richtung Ob an einer höheren Stelle das Verdeck abbilden.

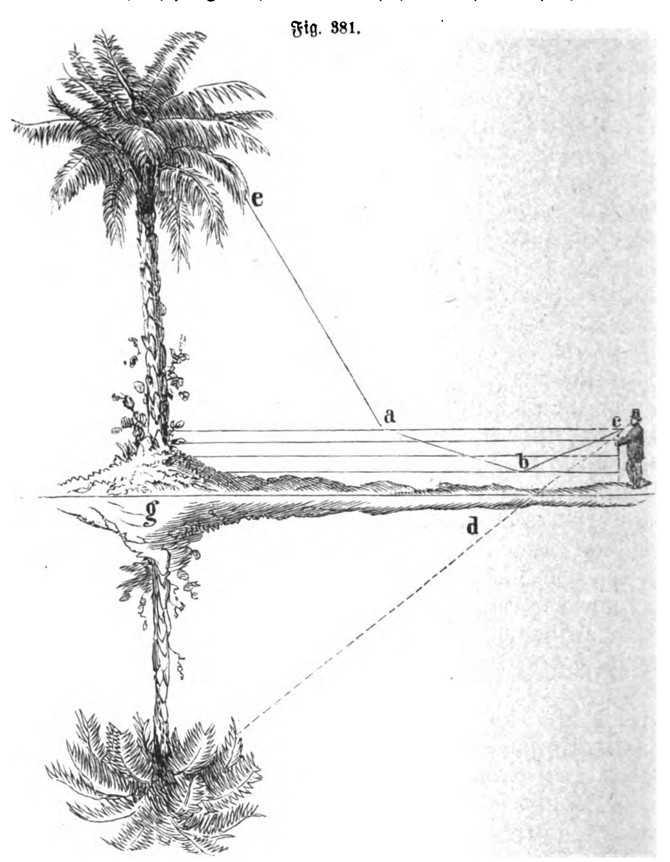
Fig. 380.



Auf dem Lande liegen das Spiegelbild und die dünneren Luftschichten unter dem Auge des Beobachters; die Bedingungen, welche hier das Luftbild hervorbringen, sind den Ursachen des Seegesichts entgegengesetzt. In den weiten Ebenen Asiens und Afrikas, wo der Erdboden durch die fast senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen stark erhitzt wird, sind nicht selten an windstillen Tagen die untersten Luftschichten durch Berührung mit dem heißen Erdboden dünner geworden, als die höheren. In der Ferne erscheinen alsdann Palmen, Dörfer und Anhöhen, die sich mit dem Auge in einer Luftmasse von gewöhnlicher Dichte befinden, nicht bloß, wie sonst; sondern unter ihnen stellt sich noch ihr umgekehrtes Spiegelbild dar. Zwischen Gegenstand und Bild tritt ein glänzender Streifen, ähnlich einem großen See. Diese Erscheinung bereitete der französischen Armee während der Expedition Napoleons in Aegypten oftmals schmerzliche Täuschungen. Ermüdet durch lange Märsche und ermattet durch die glühende Hitze, suchte man Trinkwasser und eilte dem Ufer des

Sees zu; aber die scheinbare Wasserfläche wurde schmaler und verschwan
bei größerer Annäherung gänzlich. Ein von dem hohen, fernen Gegenstan
ausgesandter Lichtstrahl trifft in dem Punkte a die oberste der wärmer
und dünneren Luftschichten, wird hier in den niedrigeren, noch dünner
vom Einfallslothe hinweggebrochen und wird schräger und schräger. En
lich fällt er in b so schräg auf die unterste, dünnste Schicht, daß er v

Fig. 381.



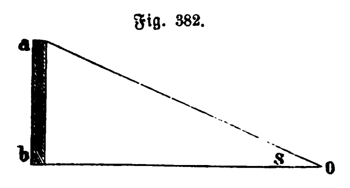
ihr gänzlich zurückgeworfen wird und ins Auge gelangt; das Au
sucht den Gegenstand in der Richtung dc des in dasselbe gelangende
Strahles und nimmt in der Tiefe das Luftbild wahr. Von den zwisch
Gegenstand und Bild liegenden Stellen gelangen keine Lichtstrahlen in
Auge; dieser Raum erscheint leer und wird leicht für Wasser gehalte
besonders wenn sehr schwache Luftströmungen der Luft eine zitternde, de
Wasserwellen vergleichbare Bewegung geben.

Das Sehen und die optischen Instrumente.

§. 319. Der Sehwinkel.

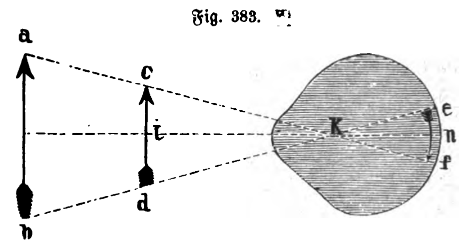
Von allen Punkten eines sichtbaren Gegenstandes gehen Strahlen aus und gelangen ins Auge; so kommen auch von seinen äußersten Grenzpunkten, von seinem höchsten und seinem niedrigsten, von dem am weitesten nach rechts und dem am weitesten nach links gelegenen Punkte dem Beobachter Strahlen zu. Befindet sich an der mit o bezeichneten Stelle ein Auge und davor ein Stab ab, der von dem Auge wahrgenommen wird, so erhält es von seinem höchsten Grenzpunkte a einen Lichtstrahl ao, und von seinem niedrigsten Punkte b den Strahl bo; beide Strahlen bilden in dem Auge einen Winkel s, welcher der Sehwinkel des Stabes genannt wird. Der Winkel, welchen die von zwei einander gegenüberliegenden Grenzpunkten eines Gegenstandes kommenden Strahlen in dem Auge bilden, heißt **der Sehwinkel oder die scheinbare Größe** des Gegenstandes.

Fig. 382.



Versuch a. Man halte dicht neben einander zwei Pfeile oder Stäbe von ungleicher Länge; in lothrechter Stellung mögen beide mit ihren oberen Enden sich in c befinden, und der eine von c bis i, der andere von c bis d reichen. Dann gelangt zu dem Auge von den oberen Grenzpunkten der Stäbe der Lichtstrahl ck, von dem untersten Punkt des kleinen Stabes der Strahl ik, und von der untersten Stelle des größeren der Strahl dk. Der Sehwinkel ckd des größeren Gegenstandes ist größer, als der Sehwinkel cki des ebenso weit vom Auge entfernten kleineren Gegenstandes; der Sehwinkel des kleineren Stabes ist nur ein Theil von dem des größeren. Größere Gegenstände erscheinen daher bei gleicher Entfernung unter größeren Sehwinkeln als kleinere Gegenstände. Je größer der Sehwinkel ist, unter welchem in bekannter Entfernung ein Gegenstand erscheint, desto größer muß der Gegenstand selber sein. Darum beurtheilen wir die Größe eines Gegenstandes nach der Größe seines Sehwinkels und irren darin nicht leicht bei bekanntem oder gewohntem Abstande des Gegenstandes.

Fig. 383.



Versuch b. Während das Auge c seine Stellung in wagerechter Linie mit der Tischplatte beibehält, betrachte es zwei gleich große, aber in ungleicher Entfernung von ihm aufgestellte Stäbe Nr. 1 und 2. Der

entferntere Stab Nr. 1 erscheint unter einem kleineren Sehwinkel und sieht kleiner aus. **Je entfernter ein Gegenstand ist, desto kleiner** ist **sein Sehwinkel, und** desto kleiner sieht er aus. Ein großer, aber entfernter Gegenstand hat mit einem kleinen, aber nahen denselben Sehwinkel und kann uns durch ihn verdeckt werden.

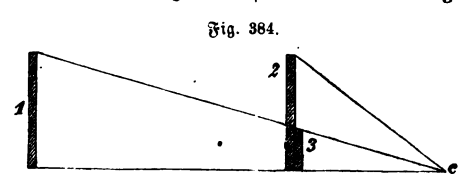


Fig. 384.

Leicht kann man die Länge eines kleineren Stäbchens Nr. 3 finden, das, an der Stelle des zweiten Stabes aufgestellt, den entfernteren größeren, ersten Stab gerade verdeckt.

So stellt sich dem Auge von der Mitte eines Zimmers aus ein ganzes **Fenster** an einem gegenüberliegenden Hause fast unter demselben Sehwinkel dar, wie eine einzelne Fensterscheibe, durch die das Auge hinübersieht. So scheinen die bei weitem größeren, aber auch weit entfernteren **Fixsterne** kleiner zu sein, als der uns nähere Mond. Die Seitenwand am entfernten Ende eines **langen Saales** erscheint schmaler und niedriger als die dem Beobachter nähere; die Decke scheint sich am entfernten Ende zu senken, und der Fußboden höher zu liegen. Eine wagerechte **Straße** scheint in der Ferne bergan zu steigen, und jede **Erhebung** des **Bodens** steiler zu sein, als sie wirklich ist. Der **Zwischenraum** zwischen den **entferntesten Bäumen einer Allee** stellt sich uns weit kleiner dar, so daß die beiden Reihen von Bäumen in der Ferne sich einander zu nähern scheinen; die in der Zeichnung dem Auge nächsten Bäume haben den gegenseitigen Abstand de, während die entferntesten nur durch den Abstand an von einander getrennt zu sein scheinen. Sehr auffallend wird auch, wie es den Augen vorkommt, **der Raum zwischen den Schienen** einer **Eisenbahn** in zunehmender Entfernung immer kleiner; und die letzten **Häuser** einer **langen Straße** stellen sich als sehr klein, und die Straße selbst dort als sehr schmal dar.

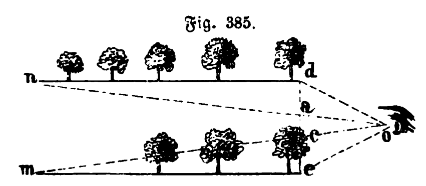


Fig. 385.

Versuch c. Legt man ein Haar auf einen dunklen Gegenstand und entfernt sich davon, so wird zugleich der Sehwinkel für die Dicke des Haares immer kleiner, und das Haar hört bald auf, dem Auge sichtbar zu sein. Hält man das Haar vor einem weißen Hintergrund, so ist es in einer größeren Entfernung sichtbar, als vor einem dunklen Hintergrunde.

Wird der Sehwinkel allzuklein, so wird der Gegenstand nicht mehr gesehen; wann er aufhört, sichtbar zu sein, hängt von seiner Gestalt, Beleuchtung und seinem Hintergrunde ab. Deshalb entzieht sich ein in der Luft schwebender **Vogel** unseren Blicken, wenn er sich weit entfernt und seinen Sehwinkel sehr verkleinert; deshalb nimmt man in größerem Abstande nicht mehr **die einzelnen Theile** eines Hauses oder Thurmes wahr. Aus gleichem Grunde werden von uns nicht gesehen die

Zwischenräume zwischen den Bäumen eines fernen Waldes oder zwischen den Pflanzen eines fernen Feldes, die sich als zusammenhängendes Ganzes darstellen, und die kleinen Räume, durch welche der Stundenzeiger einer Uhr sich bewegt, entgehen unserer Wahrnehmung.

§. 320. Optische Täuschungen über Entfernung und Größe.

Der Sehwinkel ist das Maß, nach welchem unser Verstand die Größe eines gesehenen Gegenstandes beurtheilt. Nun können uns aber große und kleine Gegenstände unter einem und demselben Sehwinkel erscheinen, wenn die größeren entfernter sind. Wissen wir nicht, welche unter den gesehenen Körpern entfernter sind, so können wir auch nicht wissen, welche größer sind. Daher vermögen wir nur dann über die Größe der wahrgenommenen Gegenstände richtig zu urtheilen, wenn wir ihre Entfernung kennen.

Die richtige Beurtheilung der Entfernung ist aber rein Sache der Uebung; wir achten dabei besonders auf zweierlei: 1) auf die zwischen uns und dem Gegenstande befindlichen Dinge und 2) auf die Helligkeit und Deutlichkeit des beobachteten Gegenstandes. Wir halten ihn für nahe, wenn wir in dem Raume zwischen ihm und uns wenige Gegenstände bemerken, und wenn er recht hell erscheint. Leicht aber fällen wir über die Entfernung falsche Urtheile, die man optische Täuschungen nennt, die aber kein Betrug der Augen, sondern Irrthümer des Verstandes sind. Bei der helleren Beleuchtung durch den Schnee täuschen wir uns über die Entfernungen und halten alle Ortschaften einer Winterlandschaft für zu nahe. In der Nacht scheint ein fernes Feuer uns nahe zu sein, weil es mehr leuchtet, als bei Tage. Das Himmelsgewölbe erscheint uns etwas herabgedrückt, weil die über uns befindlichen Luftschichten durchsichtiger und heller sind, als die am Horizont, und zwischen Himmel und Erde nichts ist, wonach sich die Entfernung abmessen ließe; überhaupt schätzen wir alle Höhen für zu niedrig.

Aus falscher Beurtheilung der Entfernung entsteht eine falsche Beurtheilung der Größe; wir schreiben Gegenständen, die wir für näher halten, als sie sind, eine zu kleine Ausdehnung zu; halten wir sie dagegen für zu entfernt, so halten wir sie für zur groß. So entstehen die irrigen Meinungen oder die optischen Täuschungen über die Größe entfernter Körper. Sonne und Mond leuchten bei ihrem Aufgange und Untergange, da die dichteren Luftschichten der unteren Atmosphäre ihr Licht schwächen, weniger hell, und zugleich nehmen wir auf dem Erdboden zwischen ihnen und uns viele Gegenstände wahr; daher halten wir beide Himmelskörper dann für zu entfernt und für größer, als sonst. Aus gleichem Grunde scheinen die sieben Sterne des großen Bären weiter aus einander zu stehen, wenn wir dies Sternbild in der Nähe des Horizonts erblicken. Bei nebligem Wetter stellen sich uns alle Gegenstände wegen der schwachen Beleuchtung als zu entfernt und auffallend groß dar. Weil man umgekehrt das Zifferblatt oder Kreuz auf einem Thurme für zu nahe hält, wird beides insgemein viel zu klein geschätzt.

§. 321. Der Bau des Auges.

Das menschliche Auge ist eine optische Vorrichtung, deren Haupt-bestandtheil eine erhabene Linse ausmacht. Es hat die Form einer Kugel mit einem leichten Vorsprunge und liegt in einer mit Fett und Zellgewebe ausgefütterten Höhle, der Augenhöhle. Die äußerste Bekleidung des Augapfels ist die **Hornhaut**, das Weiße im Auge, hhH; sie ist hart und meistentheils undurchsichtig; nur an der vorderen, mehr gewölbten Stelle H ist sie durchsichtig. Unter der Hornhaut breitet sich innerhalb des ganzen Auges eine zweite Hülle aus, die **Aderhaut**, welche mit einem schwarzen schleimigen Stoffe überzogen ist. An der Vorderseite des Auges heißt die Fortsetzung der Aderhaut **Iris** oder Regenbogenhaut; sie bildet einen Ring um eine Oeffnung und hat graue, blaue oder braune Farbe. Die kreisförmige, von der Iris umgebene Oeffnung wird die **Pupille** genannt. Als dritte, innerste Hülle liegt unter der Aderhaut die **Netzhaut** nn, eine netzartige Ausbreitung des in den Hintergrund des Auges eintretenden Sehnervs s und der eigentliche Sitz der Lichtempfindung. Eine mosaikartige Schicht der Netzhaut enthält Tausende von **Zapfen und Stäbchen**; beides sind überaus kleine Körper, die Zapfen von kegelförmiger, die Stäbchen von cylinderförmiger Gestalt. Die für das Licht empfindlichste Stelle der Netzhaut, der **gelbe Fleck**, ist am reichsten an Zapfen und liegt der Mitte der Hornhaut gegenüber. — Hinter der Pupille befindet sich ein linsenförmiger Körper aus etwas festerer Masse, die **Krystallinse** K, welche den inneren Raum des Auges in zwei ungleich große Kammern, die kleinere, vordere bis zur Hornhaut, und die größere Kammer im Hintergrunde des Auges, theilt. Beide sind mit Flüssigkeiten angefüllt, die vordere Kammer mit der **wässerigen Feuchtigkeit**, die hintere Kammer mit der ebenfalls durchsichtigen **Glasfeuchtigkeit**.

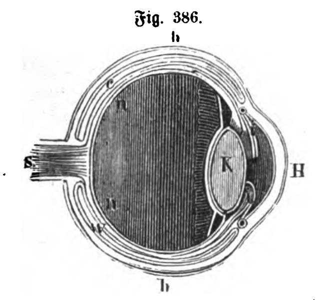


Fig. 386.

Die von der Außenwelt kommenden Lichtstrahlen gelangen durch die erhabene, durchsichtige Stelle der Hornhaut und durch die Pupille zur Krystallinse. Durch diese werden sie, wie durch eine erhabene Linse, gebrochen und zu einem umgekehrten Bilde vereinigt. **Durch die Krystalllinse entstehen kleine, umgekehrte Bilder auf der Netzhaut**, wie auch die mit den Augen getödteter größerer Thiere angestellten Versuche dargethan haben. Der Lichtreiz, welchen die sich vereinigenden Strahlen auf eine Stelle der Netzhaut und dadurch auf den Sehnerven ausüben, vermittelt für uns die Kunde von einem wahrnehmbaren Gegenstande.

Der Fehler des Auges, den man den **grauen Staar** nennt, und der dem damit Behafteten Alles wie in Nebel gehüllt erscheinen läßt, besteht in der Trübung und Verdunklung der Krystallinse und macht das Hinwegrücken derselben und den Gebrauch eines Linsenglases nöthig. Der **schwarze Staar** besteht in einer Unempfindlichkeit der Netzhaut und des

unheilbar. Die fliegenden Punkte und Perlschnüre im Auge rühren von kleinen Körperchen her, die sich in der wässerigen oder in der Glasfeuchtigkeit befinden.

§. 322. Aufrechtsehen, Einfachsehen und das Betrachten von Körpern.

1. Die auf der Netzhaut durch die Krystallinse entworfenen Bilder sind verkehrt; warum sehen wir dessenungeachtet die Gegenstände aufrecht? Die von einem unten liegenden Punkte irgend eines Körpers ins Auge fallenden Lichtstrahlen werden durch die Krystallinse so gebrochen, daß sie sich in einem nach oben zu gelegenen Punkte auf der Netzhaut vereinigen. Die Folge dieser Strahlenvereinigung ist eine doppelte. Erstens entsteht ein Bild des Punktes. Zweitens macht die Gesammtwirkung der Strahlen den Eindruck auf die Netzhaut, als kämen sie in der Richtung eines mitten durch die Linse gehenden, ungebrochenen Strahls. In dieser Richtung liegt nach unserem Urtheil der gesehene Punkt; wir verfolgen dieselbe und finden den Punkt nach unten zu. Ebenso suchen wir einen oben liegenden Punkt, der dem unteren Theil der Netzhaut Strahlen zusendet, nach oben zu, wo er liegt. Wir sehen daher die Körper aufrecht, weil wir nach der Richtung der Lichtstrahlen urtheilen; die Entstehung des Bildes auf der Netzhaut ist nur eine begleitende Erscheinung und ein Kennzeichen davon, daß die von einem Punkte ausgehenden Strahlen in einem Punkte der Netzhaut einen gemeinsamen Eindruck verursachen. Zur Bildung des richtigen Urtheils über die Stellung der Gegenstände tragen die Erfahrungen, die wir durch den Tastsinn machen, und die Bewegungsempfindungen bei. Die tastende und suchende Hand des Kindes findet unten den Fußboden, welcher nach dem oberen Theil der Netzhaut Strahlen sendet. Ferner bewegen wir, um die Wurzel eines Baumes anzusehen, Auge oder Kopf abwärts, und um den Wipfel des Baumes ins Auge zu fassen, bewegen wir Auge oder Kopf aufwärts. Von diesen Bewegungen des Auges und des Kopfes erhalten wir durch Empfindungen Kunde, welche Bewegungsempfindungen genannt werden. Die Bewegungsempfindungen unterstützen die Thätigkeit des Sehorgans; sie helfen uns, über die Stellung des Gesehenen richtige Urtheile bilden und die Theile eines Gegenstandes an den Ort versetzen, den sie in Wirklichkeit einnehmen.

2. Ferner sehen wir die Dinge mit beiden Augen einfach, weil von beiden Augen aus die Richtung der Strahlen uns dahin führt, jeden Punkt an der einen Stelle zu suchen, wo er sich befindet. Das vermögen wir aber nur dann, wenn die Bilder des gesehenen Körpers auf ähnlich gelegene Stellen der Netzhaut fallen, entweder in beiden Augen auf die Mitte der Netzhaut oder in beiden rechts von der Mitte oder in beiden links davon. Fällt das Bild eines Gegenstandes in dem einen Auge auf die rechte, im andern auf die linke Seite der Netzhaut, so sind wir nicht gewohnt, Beides für Eindrücke eines und desselben Körpers zu halten, und sehen ihn doppelt, wie folgender Versuch lehrt.

Versuch. Man halte zwei Finger **lothrecht gerade hinter** einander vor das Gesicht, so daß der eine $\frac{1}{3}$ **M., der andere weiter vom Auge** absteht. Richtet man nun aufmer**ksam und anhaltend beide Augen** auf den nächsten Finger, so fällt sein **Bild in beiden Augen auf die Mitte** der Netzhaut, und er wird einfach gese**hen. Dagegen erblickt man den** entfernteren Finger doppelt; sein Bild **liegt in dem rechten Auge links**, im linken rechts von der Mitte der Netz**haut. Fixirt man den entfernteren** Finger, so sieht man den näheren doppelt.

3. Das Bild eines Körpers **fällt auf die Fläche der Netzhaut**, und wir erkennen ihn, falls er **nicht zu weit entfernt ist, dennoch** als einen Körper. Einmal nämlich **nehmen wir wahr, daß es an ihm** Theile giebt, die uns näher sind, als **andere, wobei die Vertheilung** von Licht und Schatten unserem Urtheil **zu Hülfe kommt. Zweitens** ist es der Gebrauch beider Augen, der **uns diese Erkenntniß möglich macht**. Betrachtet man, während das rechte **Auge geschlossen ist, mit dem linken** Auge einen in der Nähe aufgestellten **Würfel, so erscheint die zur Rechten** liegende Seitenfläche desselben schmal. **Nur mit dem rechten Auge betrachtet**, erscheint sie breiter. **Die zwei Bilder**, welche ein **Körper auf den Netzhäuten** beider **Augen entwirft, sind von einander** verschieden; **die Zeichnung zeigt, wie** eine **abgestumpfte Pyramide dem rechten**, und **wie sie dem linken Auge erscheint**. Bei **Betrachtung einer ebenen Fläche** oder **einer Zeichnung tritt die Verschiedenheit** **beider Bilder nicht ein. Wir** schließen daher aus der Verschiedenheit **der Bilder, welche ein Gegenstand in** unseren beiden Augen hervorbringt, auf **die Körperlichkeit des Gegenstandes**. Wir können deshalb unsere Augen **täuschen und die Vorstellung des Körper**lichen dadurch hervorrufen, **daß wir für jedes Auge eine** entsprechende Zeichnung eines Gegenstandes **entwerfen und sie den Augen so vorhalten**, als wären sie von einem und **demselben Orte herkommende Bilder**. Zu diesem **Zwecke dient das Stereoskop** (Körperseher). Dasselbe **besteht aus einem inwendig** geschwärzten Kasten, **dessen von den Augen abgewandte** Hinterfläche **zur Aufnahme der beiden Bilder** eingerichtet ist. **Mit Hülfe der camera obscura** (§. 33?) lassen **sich die geeigneten photographischen** Doppelansichten **von Gebäuden, Landschaften und** Gruppen, die sogenannten **stereoskopischen Bilder, mit** größter Genauigkeit **anfertigen. Damit jedes Auge** das ihm entsprechende **Bild sehen kann, sind in der** Vorderwand des Stereoskops zwei Oeff**nungen angebracht. Eine erhabene** Linse, ein Vergrößerungsglas, ist in zwei **Hälften getheilt, und die eine** Hälfte in die eine Oeffnung, die andere **Hälfte in die andere Oeffnung** so eingesetzt, daß die beiden gemeinsamen **Schnittflächen von einander abgewandt** sind.

Fig. 387.

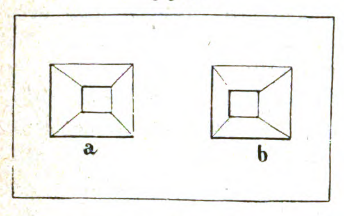
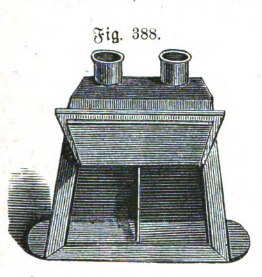


Fig. 388.



Die Bilder erscheinen vergrößert. Sodann bewirken die Linsenhälften, daß das links stehende Bild nach rechts, und das andere Bild nach links abgelenkt wird, beide von einem einzigen Gegenstande zu kommen scheinen und sich zu demselben Eindruck verbinden, den ein wirklicher Körper machen würde. Von besonderem Effect sind Stereoskopbilder, welche Prachtzimmer mit brennenden Lichtern oder Gruppen vergoldeter Vasen darstellen. Interessant sind die Photographien des Mondes, von denen je zwei zusammengehörend von verschiedenen Punkten der Erdbahn aus aufgenommen sind; Ebenen, Gebirge und Thalkessel treten im Stereoskop stark hervor; sie sind zu beziehen zu 2,5 Mark in Berlin von Moser sen., unter den Linden 44.

§. 323. Die Fortdauer und Ausbreitung des Lichteindrucks.

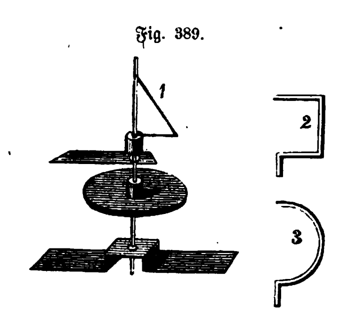
1. Fortdauer des Lichteindrucks.

Ein auf die Netzhaut gemachter Lichteindruck hört nicht plötzlich auf, sondern dauert noch einige Zeit fort, ehe er ganz erlischt. Folgen nun zwei Lichteindrücke so schnell aufeinander, daß der erste noch fortdauert, wenn der zweite hinzukommt, so fließen sie in eine einzige Wahrnehmung zusammen und werden von dem Auge gleichzeitig wahrgenommen.

Versuch a. Auf einer Walze, einem Bleistift, bezeichne man einen Punkt mit Kreide und lasse sie schnell auf dem Tische dahinrollen. Der helle Punkt bewegt sich so schnell, daß er dem Auge schon an der zweiten, dritten und noch mehr Stellen seiner kreisförmigen Bahn erscheint, während er noch an der ersten gesehen wird; es zeigt sich ein weißer Kreis, der den Bleistift umgiebt. — So kann man auch eine leuchtende Kohle im Dunkeln schnell im Kreise schwingen und wird einen leuchtenden Kreis erblicken. Aehnlich sieht man den ganzen Weg des Blitzes erhellt und hinter den Sternschnuppen feurige Streifen.

Versuch b. Wie der vorhergehende Versuch es zur Anschauung bringt, daß eine Linie, sei es eine gerade oder eine Kreislinie, durch Bewegung eines Punktes entsteht, ähnlich kann man auch die Fortdauer des Lichteindrucks benutzen, um sich die Entstehung von Körpern anschaulich darzustellen. Der Kegel entsteht durch Umdrehung eines rechtwinkligen Dreiecks, der Cylinder durch Umdrehung eines Rechtecks, die Kugel durch Umdrehung eines Halbkreises. Daher biege man einen recht blanken und nicht zu dünnen Messingdraht zu diesen in Nr. 1, 2 und 3 dargestellten Figuren und gebe ihnen nach unten zu eine senkrechte Verlängerung, um sie in einen Kork feststecken zu können. Der Kork wird mit ziemlicher Reibung möglichst weit abwärts über eine dicke Stricknadel geschoben, welche die Drahtfiguren zu einem vollständigen Dreieck, Rechteck

Fig. 389.

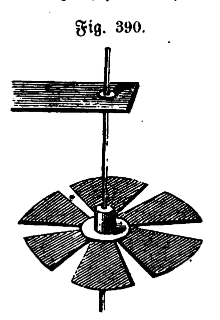


oder Halbkreis ergänzt und zugleich die Axe bildet, um welche die Um-
drehung vor sich gehen soll.

Damit die Drehung schnell und regelmäßig genug geschehe, schieb
man über den unteren Theil der Stricknadel eine **runde Pappscheib**
welche den Dienst eines Schwungrades leistet, und klemmt sie durch eine
darüber und einen darunter geschobenen Kork fest. Die Nadel wird m
den Fingern, indem man oben anfaßt, und nachher losläßt, in drehen
Bewegung versetzt. Die lothrechte Stellung wird der Nadel dadurch g
sichert, daß man einem Streifen Kartenpapier an seinem einen Ende ei
weite Bohrung giebt, in welcher sich die Nadel mit hinreichendem Spiel
raum bewegt; den Streifen hält man möglichst weit nach oben, doch
dem obersten Kork, der jedesmal eine der Drahtfiguren aufnimmt. E
längerer Streifen von einer Spielkarte oder steifem Papier wird auf d
Tisch gelegt, seine Mitte emporgebogen und mit einer weiten Bohru
versehen; das untere Ende der Nadel wird hindurchgeschoben, und
Enden des unteren Streifens können durch darauf gelegte Gegenstän
beschwert werden. Geringe Uebung reicht hin, um der Vorrichtung e
schnelle Bewegung zu ertheilen. Man nimmt beim Umdrehen des er
Drahtes einen Kegel wahr; ist der zweite Draht eingesetzt, so sieht m
einen Cylinder, beim dritten eine Kugel.

Versuch c. Eine kreisrunde Scheibe von 10—15 Cm. Durchm
werde aus starkem, nicht zu hellem Papier gefertigt; in der Mitte bl
sie unzerschnitten, und es bleibe dort ein kleiner Kreis übrig. Von
aus aber erhalte die Kreisscheibe sechs oder
mehr Ausschnitte, die **nicht zu schmal** zu neh
sind. Die Umdrehung der Scheibe gelingt le
wenn man sie zwischen zwei Korke über das un
Ende einer Stricknadel schiebt, mit der linken H
oben den, wie in Versuch b, durchbohrten Str
Kartenpapier hält, mit der rechten zuerst schnell d
und diese darauf losläßt. Stellt man die Vorrich
lothrecht auf ein bedrucktes Stück Papier, so
man die Schrift durch die Ausschnitte nur t
weise sehen und nicht lesen. Versetzt man aber
Scheibe in Drehung, während man durch die A
schnitte sieht, so bleibt der Eindruck des eben Gesehenen; neue Eind
kommen hinzu, und man sieht die Schrift vollständig, wenn auch wen
hell. Bei wagerechter Lage der Axe kann man, nach dem Fenster schau
durch die Ausschnitte das Fenster und die vor demselben befindlichen Ge
stände sämmtlich sehen.

Fig. 390.



Versuch d. Man schneidet eine kreisrunde Scheibe aus Pappe
starkem Papier und giebt ihr einen Durchmesser von 5 bis 8 Cm.
den Enden eines Durchmessers sticht man einander gegenüberstehend
Löcher ein, zieht durch jedes derselben einen kurzen Bindfaden und sch
dessen eines Ende zu einer fest an den Rand der Scheibe anschließen
Schleife zusammen. Durch Hülfe beider Fäden kann man mit be

Daumen und Zeigefingern die Scheibe schnell umdrehen. Auf der Vorderseite zeichnet man mit Tinte eine dicke, wagerechte Linie in der Richtung der beiden Löcher, auf der Rückseite derselben Scheibe wird eine lothrechte Linie gezeichnet, so daß beide, wären sie auf derselben Seite, ein Kreuz bilden würden. Wenn man die Vorrichtung schnell dreht und von

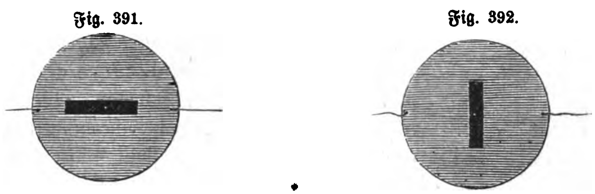


Fig. 391. Fig. 392.

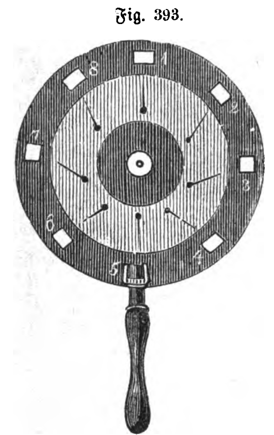
oben darauf schaut, so sieht man ein Kreuz, weil der Eindruck der wagerechten Linie noch fortdauert, wann der der lothrechten hinzukommt. Eine solche Scheibe wird ein **Thaumatrop** genannt und kann auch mit anderen einfachen Zeichnungen, z. B. auf der Vorderseite mit einem Käfig und auf der Rückseite mit einem Vogel, versehen werden.

Man erhält Thaumatrope auch auf folgende Weise. Es wird ein Stück Pappe viereckig geschnitten, so breit, wie eine Spielkarte, aber etwas länger als dieselbe; oben und unten, in der Mitte der Breite, werden die zum Umdrehen dienenden Fäden angebracht. Dann klebt man oben auf die Vorderseite der Pappscheibe die obere Hälfte eines Bildes, und unten auf die Rückseite der Scheibe die untere Hälfte desselben Bildes. Als Bild eignet sich jeder kräftige Holzschnitt, besonders aber die Bilder der Whistkarten. — Ein solches Bild zerschneide man ferner von obenher nach unten hin in zwei Hälften und klebe die linke Hälfte des Bildes links auf die Vorderseite einer Pappscheibe, und die rechte Hälfte des Bildes rechts auf die Rückseite der Scheibe; die Linie, in welcher das Bild durchgeschnitten ist, muß mit der Drehungsaxe der Scheibe zusammenfallen. Es gewährt Abwechselung, wenn man statt des Bildes ein recht groß gedrucktes Wort anwendet. Zu rathen ist, daß man die Hälften der Bilder oder Wörter nur lose und vorläufig aufklebe, dann die Scheibe schnell umdrehe und nach den dabei gemachten Wahrnehmungen den aufgeklebten Stücken die angemessene Lage gebe. Beim Umdrehen der Thaumatrope stellt man sich so, daß man den Fenstern den Rücken zuwendet.

Versuch e. Das Stroboskop. Eine Kreisscheibe mit einem Durchmesser von 16 bis 20 Cm. erhalte in gleichen Abständen von einander acht Ausschnitte am Rande. Dieselben haben in der Richtung von dem Umkreise nach dem Mittelpunkte eine Länge von 15 Mm. und 6 Mm. Breite. Von der Mitte der ganzen Scheibe aus bis zu dem durch die Ausschnitte gebildeten Ringe wird ein Gegenstand, etwa ein Pendel, in acht aufeinander folgenden Stellungen gezeichnet, so daß jedem Ausschnitt eine andere Stellung entspricht. Unter dem mit 1 bezeichneten Ausschnitt hat das Pendel lothrechte Stellung; unter dem 2. Ausschnitt weicht es davon nach rechts ab, unter 3 hat es seine Stellung am weitesten nach rechts, unter 4 ist es etwas nach links zurückgekehrt, und unter 5 hängt

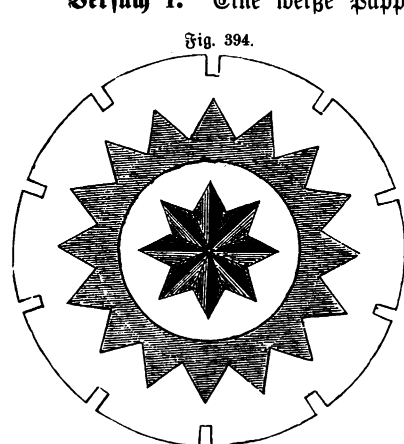
es wieder lothrecht. Unter 6 weicht es wenig nach links, unter 7 am meisten nach links ab; unter 8 nähert es sich wieder der lothrechten Stellung. Durch die Mitte der Scheibe wird nun eine Stricknadel geschoben, zwischen zwei Korken an die Scheibe festgeklemmt, und die Scheibe ungefähr 60 Cm. vor einem an der Wand hängenden Spiegel so gehalten, daß die Fläche mit den Zeichnungen dem Spiegel zugekehrt ist. Durch die oberste Oeffnung sieht das dicht dahinter befindliche Auge in den Spiegel. Wenn dann die wagerecht liegende Axe der Scheibe mit den Händen rasch gedreht wird, so sieht man das Pendel hin- und herschwingen. Durch die Oeffnung 1 erblickt man es in seiner lothrechten Stellung; dieser Eindruck bleibt, bis man das Pendel durch die zweite Oeffnung weiter nach rechts sieht, und wieder dauert dieser zweite Lichteindruck fort, bis die dritte Oeffnung vor das Auge tritt und ihm das Pendel in seiner äußersten Stellung nach rechts zeigt. Die so dem Auge vorgeführten Stellungen des Gegenstandes machen auf das Auge den Eindruck, als ob das Pendel sich hin und her bewegte. Täuschend lassen sich mittels etwas größerer stroboskopischer Scheiben Bewegungen von Maschinen, Thieren und Menschen darstellen, indem man sie in den bei ihrer Bewegung auf einander folgenden Stellungen zeichnet. Man sieht Räder sich um ihre Axe drehen, Affen durch Reifen springen, Musiker die Pauke schlagen, und Turner ihre Uebungen ausführen.

Fig. 393.



Versuch f. Eine weiße Pappscheibe von 22 Cm. Durchmesser versehe man am Rande mit 10 Spaltöffnungen von der vorher angegebenen Größe und klebe auf die Scheibe einen aus farbigem Papier geschnittenen Stern mit 16 Ecken und einem Durchmesser von 15 Cm. Auf den Stern klebt man einen Kreis aus weißem Papier, mit einem Durchmesser von 8 Cm. und auf diesen einen farbigen Stern mit 8 Ecken und einem Durchmesser von 5 Cm.; die Mittelpunkte der Sterne und Kreise müssen zusammenfallen. Dreht man dies Stroboskop auf die angegebene Weise, so erblickt das durch eine Spalte sehende Auge im Spiegel Folgendes. Der größere Stern rotirt in der Richtung der Drehung, der kleinere in entgegengesetzter Richtung. Die 16 Strahlen des größeren Sterns wandern schneller vor dem Auge vorbei, als die Spalten, bewegen sich

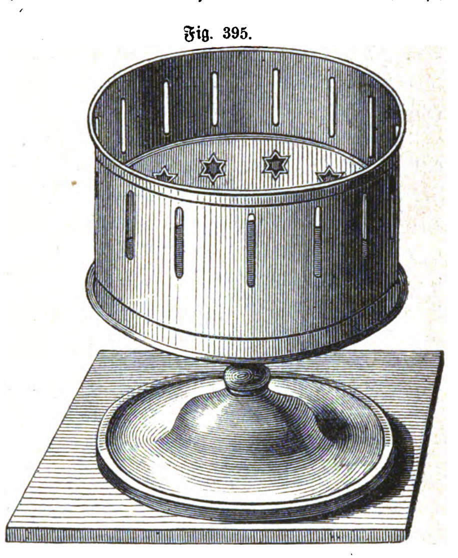
Fig. 394.



daher schneller, als diese, in gleicher Richtung. Dagegen bleiben die 8 Strahlen des kleineren Sterns hinter den Spalten zurück und scheinen sich darum in entgegengesetzter Richtung zu bewegen.

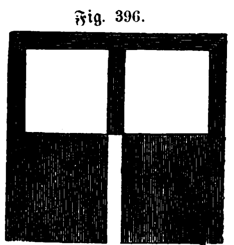
Man hat dem Stroboskop auch die Form eines Cylinders gegeben, bei welcher der Spiegel entbehrlich wird. Das Cylinder-Stroboskop, welches man auch „Zoetrop" genannt hat, ist folgendermaßen eingerichtet. Auf einen hölzernen Fuß ist ein lothrechter Eisenstab befestigt, der oben in eine Spitze ausläuft; auf die Spitze wird die Mitte einer Holzscheibe gelegt, in welche ein messingenes Hütchen eingesetzt ist. Die wagerecht schwebende Scheibe läßt sich bequem mit der Hand in drehende Bewegung setzen; sie bildet den Boden eines aus Pappe oder Blech gefertigten Cylinders, der einen Durchmesser von 20 bis 30 Cm. hat. Nahe dem oberen Rande ist der Cylinder zum Hineinblicken mit länglichen Spalten versehen, die von einander gleiche Entfernung haben. In dem unteren Theil des Cylinders werden die mit den Zeichnungen versehenen Papierstreifen aufgestellt; das Licht fällt von oben auf die Bilder; bei mäßig schneller Drehung des Cylinders scheinen die dargestellten Gegenstände die mannigfachsten Bewegungen zu machen.

Fig. 395.



2. Ausbreitung des Lichteindrucks. Wenn man die Mondsichel betrachtet, während der übrige Theil des Mondes durch schwache Beleuchtung wahrnehmbar ist, so scheint die helle Sichel einem größeren Kreise anzugehören, als der übrige Theil des Mondes. Eine ähnliche Wahrnehmung macht man überall, wo man einen hellbeleuchteten Gegenstand auf dunklem Grunde betrachtet. Klebt man auf eine Scheibe einen fünf Mm. breiten, lothrechten Papierstreifen, dessen eine Hälfte weiß und von schwarzen Flächen begrenzt ist, während die andere genau ebenso breite Hälfte des Streifens geschwärzt und von weißen Flächen begrenzt ist, so scheint bei heller Beleuchtung aus einer Entfernung von 3 M. die hellere Hälfte des Streifens breiter zu sein. Diese Erscheinung wird die Irradiation genannt; sie hat ihren Grund darin, daß der Eindruck lebhaften Lichtes nicht bloß die getroffenen Stellen der Netzhaut, sondern auch die an diese grenzenden Stellen der Netzhaut erregt, oder daß der Lichteindruck sich auf der Netz-

Fig. 396.



haut ausbreitet; dadurch wird der Schein bewirkt, als habe der hellbe-
leuchtete Gegenstand eine größere Ausdehnung.

§. 324. Accommodationsvermögen des Auges.

Ein Gegenstand kann nur dann deutlich gesehen werden, wenn d.
von ihm ausgehenden Strahlen genau auf der Netzhaut verein.
werden, oder, mit anderen Worten, wenn das Bild des Gegenstand
genau auf die Netzhaut fällt. Das Bild wird durch die Kryst.
linse entworfen. Nun haben aber die durch ein erhabenes Linsengl.
entworfenen Bilder keineswegs alle dieselbe Entfernung von der Lin.
Nach §. 313 a und b ist das Bild eines entfernten Gegenstandes de
Linse nahe, und das Bild eines nahen Gegenstandes ist von ihr weite
entfernt; nur für gleichweit entfernte Körper fallen die Bilder auch
gleiche Entfernung von der Linse. Daher würden nur in einer bestimmt
Entfernung vom Auge befindliche Körper durch die Krystallinse gen.
uf der Netzhaut abgebildet werden können; die Bilder entfernter Geg.
ände würden der Linse näher sein und vor die Netzhaut fallen; u.
stmgekehrt würden die Bilder näherer Gegenstände hinter die Netzh.
allen und ebenfalls kein deutliches Sehen möglich machen.

Versuch. Man halte einen Bleistift oder ein an einem Ende v.
kohltes Schwefelhölzchen so in der Hand, daß aus ihr nur eine
kurze Spitze des Reißbleies oder der Kohle hervorragt, und bringe
in einer 20 Cm. weiten oder etwas größeren Entfernung, in der
die Spitze scharf sieht, vor das eine offene Auge. Sieht man die n.
Spitze deutlich, so erscheinen die entfernten Gegenstände neblig und s.
schwimmend; die von ihnen ausgehenden Strahlen werden bei diesem Z.
stande des Auges nicht auf der Netzhaut vereinigt. Bliebe das A.
immer in diesem Zustande, so würde es niemals entfernte Gegenst.
deutlich sehen. Nun sehe man aber nach einem ferneren Gegenstand
nimmt man ihn deutlich wahr, so wird die nahe Kohlenspitze nicht d.
lich gesehen. Das Auge hat jetzt einen andern Zustand angenomm.
in welchem es nur in die Ferne deutlich sieht.

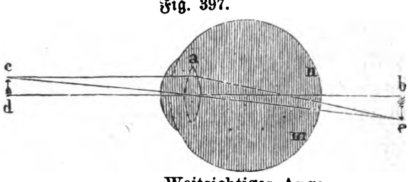
Hat man längere Zeit anhaltend in die Ferne gesehen und wen.
darauf den Blick nahen Gegenständen zu, so fühlt man, daß im A.
Auge eine Veränderung vorgeht, die ihm einige Anstrengung kostet. D.
gesunden Auge ist die merkwürdige Eigenschaft verliehen, seine Ge.
zu ändern und sich für ein Sehen in die Ferne und in die Nähe ein.
richten. Dies Vermögen, sich der Entfernung der Gegenstän.
anzupassen, heißt das Accommodationsvermögen des Aug.
Wahrscheinlich wölbt sich das Auge bei Betrachtung naher Gegenst.
stärker und entfernt dadurch die Krystallinse weiter von der Netzh.
nunmehr fällt das ohne solche Aenderung hinter ihr liegende Bild ge.
auf die Netzhaut. Umgekehrt verflacht sich das Auge bei Betracht.
ferner Gegenstände und nähert dadurch die Linse der Netzhaut, so d.
diese das ursprünglich vor ihr liegende Bild auffängt.

§. 325. Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit.

Mit dem Alter oder durch Gewöhnung kann das Auge sein Accommodationsvermögen verlieren. Nimmt es nur entfernte Gegenstände deutlich wahr, ohne sich für ein Sehen in die Nähe ändern zu können, so ist es weitsichtig geworden. Erkennt es dagegen nur sehr nahe Gegenstände, ohne sich für ein Sehen in die Ferne einrichten zu können, so ist das Auge kurzsichtig geworden. Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit haben das Fehlen des Accommodationsvermögens gemeinsam.

Die **Weitsichtigkeit** tritt häufig bei vorgerücktem Alter ein, wann die Feuchtigkeiten im Auge sich vermindern, und die Krystallinse und Hornhaut eine weniger erhabene Gestalt annehmen; oft aber findet sich dieser Fehler schon frühzeitig bei Jägern, Landleuten, überhaupt Solchen, die ihr Augenmerk auf weit entfernte Gegenstände zu richten pflegen. Das Eintreten der Weitsichtigkeit spürt man daran, daß man gewöhnliche Schrift hinter das Licht oder doch weiter vom Auge entfernt halten muß, als 20 bis 25 Cm., in welchem Abstande ein gesundes Auge sie am deutlichsten erkennt. Da das Auge nicht mehr vermag, sich für nahe Gegenstände passend zu ändern, so fällt das Bild be eines nahen Gegenstandes cd hinter die Netzhaut, die Lichtstrahlen werden durch die Krystallinse nicht stark genug gebrochen, um sich früher zu vereinigen; der Weg der Lichtstrahlen bis zur Vereinigung zu einem Bilde ist in einem weitsichtigen Auge zu weit.

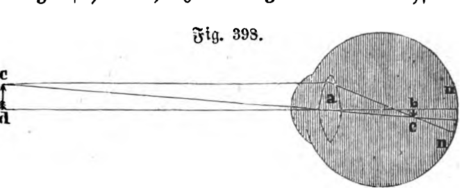
Fig. 397.



Weitsichtiges Auge.

Die **Kurzsichtigkeit** zieht man sich dadurch zu, daß man sich gewöhnt, die zu betrachtende Arbeit dem Auge sehr nahe zu bringen. Die Krystallinse und Hornhaut werden dadurch für die Dauer so erhaben, daß zwar die Bilder naher Körper die Netzhaut treffen, man es aber nicht mehr in seiner Gewalt hat, für die Ferne das Auge einzurichten. Die von einem entfernten Körper cd ausgehenden Lichtstrahlen werden zu stark gebrochen und zu früh an einer Stelle be vereinigt, welche vor der Netzhaut liegt. Der Weg der Lichtstrahlen bis zur Vereinigung zu einem Bilde ist in einem kurzsichtigen Auge zu kurz.

Fig. 398.



Kurzsichtiges Auge.

§. 326. Die Brillen.

Als Hülfsmittel einer richtigen Strahlenbrechung werden Linsengläser angewandt, welche den Namen Brillen haben und zuerst von einem

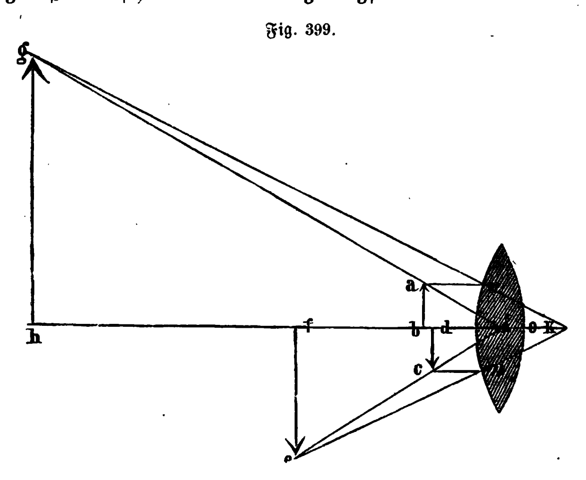
italienischen Mönche Alexander von Spina um das Jahr 1330 gefertigt sein sollen.

Bei einem weitsichtigen Auge ist die Brechung zu schwach, und die Vereinigung der Strahlen findet zu spät statt. Erhabene Gläs brechen aber die Lichtstrahlen so, daß sie sich einander nähern und früh vereinigen. Daher sind erhabene Brillengläser von Weitsichtigen a zuwenden. — Umgekehrt nähern sich die Lichtstrahlen in einem kur sichtigen Auge zu sehr und werden zu früh vereinigt. Durch Hohlglä werden aber die Strahlen auseinanderlaufend, ihre Vereinigung wird gehalten und erfolgt später. Nach dem Grade der Weitsichtigkeit oder Kur sichtigkeit muß man, damit die Bilder genau und ohne Anstrengung d Auges auf die Netzhaut fallen, stärkere oder schwächere Gläser, das h Linsen von stärkerer oder geringerer Wölbung oder Vertiefung, wählen. Daher hat man die Brillen in verschiedenen Nummern; oft giebt die Nummer die Anzahl der Centimeter an, welche die Kugel, über der Brille geschliffen worden, im Durchmesser hat; die kleinsten Nummern hören der kleinsten Kugel an, haben die stärkste Wölbung und sind scharfsten. Es gilt als Regel, nicht die Nummer zu wählen, durch welc man am deutlichsten sieht, sondern die zunächst höhere.

§. 327. Die Loupe und das einfache Mikroskop.

Wenn wir einen sehr kleinen Gegenstand deutlich sehen wo bringen wir ihn dem Auge möglichst nahe; denn je näher er ist, d größer erscheint er. Die geringste Weite des deutlichen Sehens betr aber für ein gesund Auge 20 Cm., noch näher gebrac Gegenstände verm es sich nicht ei zurichten und d Strahlen nicht der Netzhaut einem deutlich Bilde zu vereinig Zum scharfen Seh kleiner Körper b darf es daher ein Hülfsmittels, durc welches der betrac tete Gegenstand u entfernter, in d Weite des deutlichen Sehens, und zugleich, weil er in größere Abstande kleiner aussehen würde, vergrößert erscheint. Nach §. 31 erscheinen die zwischen einer erhabenen Linse und ihrem Brenn punkt befindlichen Gegenstände dem hindurchsehenden Auge vergröße

Fig. 399.



und in weiterer Entfernung. Das dicht hinter der Linse in O gehaltene Auge erblickt den kleinen Gegenstand cd vergrößert in größerem Abstande in ef. Liegt der Brennpunkt der Linse sehr nahe, oder, da man die Entfernung des Brennpunktes von der Linse die Brennweite nennt, ist die Brennweite sehr kurz, so muß der Gegenstand, der innerhalb der Brennweite liegen muß, der Linse sehr nahe sein. Dem Auge aber muß er in der Sehweite von 20 Cm. sich darstellen. Denkt man sich nun in der Zeichnung für ein Glas von kürzerer Brennweite den Gegenstand cd der Linse genähert, so laufen die vom Auge zu seinen Endpunkten gezogenen Linien if und ie noch weiter auseinander, und das zwischen ihnen gesehene Bild erscheint noch größer. Ein erhabenes Glas vergrößert daher desto mehr, je kürzer seine Brennweite ist. Die Linse habe eine Brennweite von 2 Cm., und das Auge eine Sehweite von 20 Cm.; der Gegenstand befindet sich dann fast 2 Cm. vom Glase entfernt und erscheint in einer Entfernung von 20 Cm. und der Länge nach 10 Mal vergrößert. Eine Linse von 2 Cm. Brennweite würde für eine Sehweite von 20 Cm. 10 Mal vergrößern. So viel Mal so lang erscheint der Körper oder eine Linie, um welche seine Endpunkte von einander abstehen; es ist das die lineare Vergrößerung. Wird aber die Länge 10 Mal, und die Breite 10 Mal vergrößert, so wird die ganze Fläche $10 \times 10 = 100$ Mal so groß aussehen.

Jede erhabene Linse mit kurzer Brennweite heißt eine **Loupe;** jede erhabene Linse mit einer Brennweite von weniger, als einem Cm., wird ein einfaches Mikroskop genannt. Sie vergrößern so viel Mal, als ihre Brennweite in der Sehweite des Auges enthalten ist.

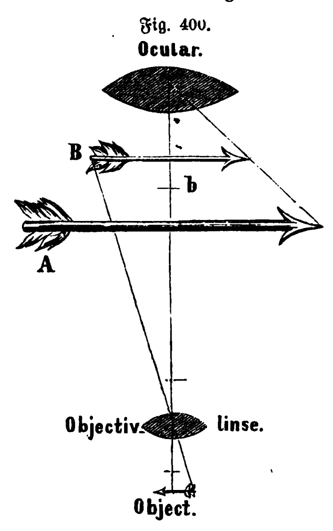
Eine Loupe hat einen Durchmesser von 2 bis 5 Cm. und ist größer, als ein einfaches Mikroskop; sie wird meist mit der Hand gehalten und gewährt für eine Sehweite von 20 Cm. höchstens eine sechszehnmalige Linearvergrößerung. Sie dient den Uhrmachern und Kupferstechern bei ihren Arbeiten, den Banquiers, um falsches Papiergeld zu erkennen, und dem Naturforscher, um die Form von Insekten- und Pflanzentheilen zu erforschen. Die Cylinderloupen bestehen aus einem massiven, an beiden Enden erhaben geschliffenen Glascylinder, geben ein schönes Bild und haben einen Preis von 4,5 Mark. Beim Gebrauch einer Loupe ist das Auge ihr möglichst nahe zu bringen, wenn es sich um den Gesammtüberblick über einen Gegenstand handelt; beabsichtigt man dagegen die genauere Erforschung eines einzelnen Punktes, so kann man das Auge 15 bis 20 Cm. entfernen, ohne der Deutlichkeit des Bildes zu schaden.

Das **einfache Mikroskop** ist eine weit kleinere Linse oder eine Kugel mit äußerst kurzer Brennweite und wird von einem Gestell getragen. Sie gestattet nur, einen Theil des Gegenstandes zu übersehen; er wird stärker vergrößert, als durch eine Loupe, erscheint aber zugleich weniger hell, da eine kleine Linse nur eine geringe Lichtmenge hindurchlassen kann.

§. 328. Das zusammengesetzte Mikroskop.

Das zusammengesetzte Mikroskop ist um das Jahr 1590 durch den Brillenmacher Zacharias Jansen zu Middelburg in Holland erfunden worden. In seiner einfachsten Gestalt besteht es aus zwei erhabenen Linsen; die eine derselben ist dem kleinen Gegenstande oder Object zugewandt un[d] nahe, sie heißt die Objectivlinse, ist stark erhaben und hat eine seh[r] kurze Brennweite. Die andere Linse, durch welche das Auge hindurchsieht wird das Ocular genannt.

Fig. 400.

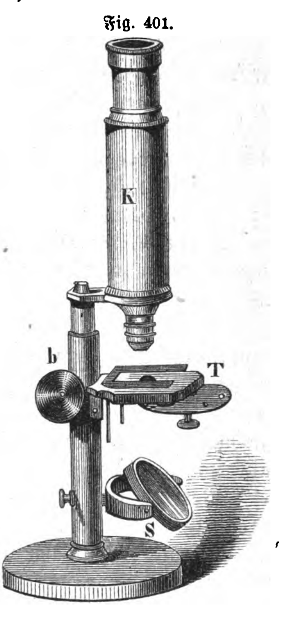


Von dem kleinen, nahen Gege[n]stande, der außerhalb der Brennweite [a]ufzustellen ist, entsteht durch die Obj[ec]tivlinse des Mikroskops ein ve[r]größertes und umgekehrtes objectiv[es] Bild an der mit B bezeichneten Stelle. Dies Bild wird für das Auge no[ch] durch das Ocular vergrößert und [...] durch eine Loupe betrachtet; deshalb mu[ß] das Ocular eine solche Entfernung von [der] Objectivlinse erhalten, daß das zu [ver]größernde Bild B zwischen das Ocular [und] seinen Brennpunkt b fällt. Der vergrö[ßerte] Gegenstand stellt sich dem Auge in um[ge]kehrter Lage dar, seine rechte Seite [...] auf der linken gesehen. Häufig enthält [das] Mikroskop noch eine zweite Ocularli[nse], die man in möglichster Nähe der ersten [an]bringt, um durch diese Vorrichtung [dem] Bilde eine größere Reinheit und Schärfe zu geben.

Die Linsen des Mikroskops sind in eine Röhre gefaßt, welche [im] Innern geschwärzt ist. Bei lothrechter Stellung derselben befindet sich [an] ihrem unteren Ende die Objectivlinse, oben das Ocular. Die Röhre [des] Mikroskops wird von einer Säule getragen, läßt sich höher oder niedrig[er] stellen und durch ein gezahntes Rad b mit Zahnstange (§. 55) beweg[en]. Unter der Objectivlinse ist eine in der Mitte durchbrochene Platte T [an]gebracht, welche die zu betrachtenden kleinen Objecte zu tragen hat und [der] Objectentisch genannt wird; man legt über seine Oeffnung eine [klei]ne Glasplatte und auf diese den Gegenstand, der mit einem dünnen Gl[äs]chen, einem sogenannten Deckglase, überdeckt wird. Es ist für [die] Beobachtung von großer Wichtigkeit, daß das Mikroskop richtig eingeste[llt] werde, das heißt, daß das Object die richtige Entfernung von der O[b]jectivlinse erhalte. Dies geschieht, während man durch das Ocular sie[ht], bis das Object vollkommen deutlich erscheint. Das Auge muß dem Ocu[lar] möglichst nahe gebracht werden, weil man dadurch alles fremde Licht [am] besten ausschließt. Die Helligkeit nimmt mit der Stärke der Vergrößeru[ng] ab; die Objecte, die meistens durchsichtig oder doch durchscheinend sin[d]

müssen daher durch einen kleinen Hohlspiegel S künstlich beleuchtet werden, welcher die vereinigten Strahlen des Tageslichtes durch die Oeffnung des Objectentisches dem Gegenstande zusendet. Um den Spiegel richtig zu stellen, sieht man durch das Ocular des Mikroskops, das man auf einen festen Tisch nahe bei einem nicht von der Sonne beschienenen Fenster aufgestellt hat, und dreht den Spiegel nach der einen oder anderen Richtung, bis dem Auge das stärkste Licht zukommt. Am Abend kann man in der Nähe einer hellbrennenden Lampe beobachten. Ist ein Mikroskop auch zur Untersuchung undurchsichtiger (opaker) Gegenstände eingerichtet, so ist es entweder noch mit einer Beleuchtungslinse oder einem etwas größeren Beleuchtungsspiegel versehen. Die Beleuchtungslinse ist eine erhabene Linse, welche an dem Gestell des Mikroskops, etwas höher, als der Objectentisch, angebracht ist; sie wird schräg gestellt, so daß durch sie das gesammelte Tageslicht von oben her auf das Object fällt. Der Beleuchtungsspiegel für undurchsichtige Objecte ist ein in der Mitte durchbrochener, metallener Hohlspiegel mit einer Breite oder einem Durchmesser von 6 Cm. Das Object ist auf einen schmalen Holzstreifen befestigt, und dieser wird vorn an den Hohlspiegel durch eine Feder so festgeklemmt, daß das Object dem Spiegel zugekehrt ist und sich in seinem Brennpunkt befindet. Die Röhre des Mikroskops wird aus ihrem Gestell genommen und in die Mitte des Hohlspiegels eingeschraubt; bei der Beobachtung wendet man den Spiegel dem Tageslicht zu und hält die Röhre wagerecht. Dieselbe Art der Beleuchtung läßt sich auch für durchscheinende Objecte anwenden. Beim Ankauf eines Mikroskops kommt es vor Allem auf zweierlei an, auf die Stärke der Vergrößerung, die zwischen zweihundertfacher bis fünfhundertfacher Linearvergrößerung wechseln kann, und auf die Klarheit und Reinheit des Bildes. Gute zusammengesetzte Mikroskope liefert das mikroskopische Institut von Engell & Comp. in Zürich, dessen Instrumente aus der Fabrik mechanischer Gegenstände von Schäfer und Budenberg zu Magdeburg zu 15, 24 und 90 Mark zu beziehen sind.

Fig. 401.



Das Mikroskop hat zu sehr wichtigen Aufschlüssen über den Bau von Pflanzen und Thieren, über die Einrichtung unserer Sinnesorgane, besonders des Auges und Ohres, über die Ursache mancher Krankheiten, z. B. der Trichinenkrankheit, geführt. Eine große Anzahl solcher Untersuchungen läßt sich schon mit weniger vollkommenen Mikroskopen und ohne große Vorbereitungen anstellen.

Mikroskopische Untersuchungen aus dem Pflanzenreiche.

Versuch a. Die Pflanzenzelle. In solchem Wasser, das länger Zeit in einem Glase gestanden hat, und fast in allen stehenden Gewässe findet man grüne Flocken, die aus zarten Fäden bestehen und den Nam Wasserfaden (Conferva) führen. Man bringe einen dieser Fäden einem Wassertropfen auf die Glasplatte des Mikroskops, lege ein De gläschen darauf und wird die Beobachtung machen, daß der Faden a Zellen besteht, die perlschnurartig an einander gereiht sind. Die Ze die Grundform aller Pflanzengebilde, stellt sich dem Auge auf einfach Weise in der betrachteten reinen Zellenpflanze dar; zugleich sieht m daß jede Zelle verschlossen ist.

Versuch b. Gestalt der Zelle. Die runde oder sechseckige Ges der Zellen beobachtet man am leichtesten am Mark des Hollunders, d Sonnenblume, der Binsen. Mit einem Rasirmesser verschafft man sich dur einen Querschnitt ein recht dünnes Scheibchen davon und bringt es trock unter das Mikroskop.

Versuch c. Leinen und Baumwolle. An der Form ihrer Zel sind Flachs und Baumwolle zu unterscheiden. Flachs oder Hanf mit sein langen Zellen sieht unter dem Mikroskop wie ein durchweg gleich stark runder Faden aus. Die dünnwandigen Zellen einer Baumwollenfaser scheinen wie ein plattes Band mit abgerundeten Rändern. Auf diese W läßt sich die Verfälschung eines angeblich reinleinenen Gewebes ermit

Versuch d. Die Brennborsten einer Nessel. Man pflücke Brennessel und schaffe sie behutsam nach Hause. Legt man die Glaspl des Mikroskops auf den Tisch, schneidet über ihr mehrere von den Ha oder Brennborsten der Nessel mit der Scheere ab und schiebt die Gla platte mit denselben unter das Mikroskop, so nimmt man, falls man vo sichtig zu Werke gegangen ist, wenigstens an einer der Borsten ein Knöpfch wahr, welches sammt dem Haare eine einzige Zelle ausmacht. An ein andern Borste ist das Knöpfchen vielleicht aufgesprungen und hat sein scharfen, brennenden Saft auf die Glasplatte ergossen; an den meis wird es ganz abgesprungen sein.

Versuch e. Die Spiralgefäße. Ein Rosen-, Eichen- oder Wei blatt werde so zerrissen, daß die getrennten Stücke noch durch feine wei Fäserchen verbunden bleiben. Eins dieser Fäserchen schneide man mit d Scheere ab und bringe es unter das Mikroskop. Man wird schrauben artige, spiralförmige Gefäße entdecken, Ablagerungen aus dem Pflanzen safte, die sich in den Zellen gebildet haben.

Versuch f. Stärke. In den Pflanzenzellen ist unter Anderem Stärk enthalten. Es werden etliche Stärkekörnchen auf die Glasplatte gestreu und ein Deckglas aufgelegt; die Kortoffelstärke erscheint in der Gestalt förmiger Kügelchen, die aus vielen übereinander gelagerten Schalen besteh Weizenstärke dagegen hat das Aussehen flach gedrückter, linsenförmiger Körper

Versuch g. Blüthenstaub. Man erkennt mittels des Mikrosko daß der feinste Blüthenstaub aus einzelnen Körnern besteht. Für elektrisch

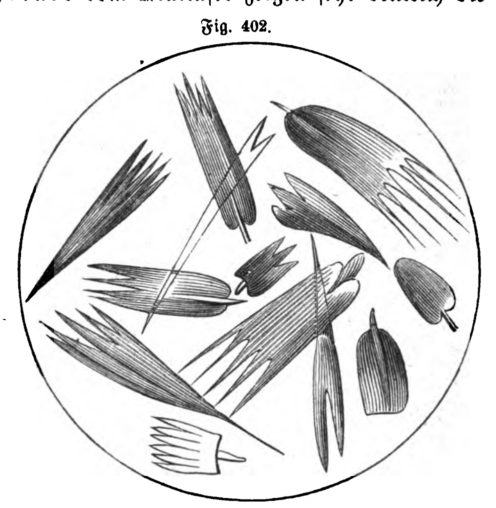
Versuche hat man (§. 186) semen Lycopodii nöthig; etwas davon thue man auf die Glasplatte, bringe einen Tropfen Wasser und dann ein Deckgläschen darauf.

Mikroskopische Untersuchungen aus dem Thierreiche.

Versuch h. Infusionsthierchen. Wenn man aus Teichen oder Gräben Wasserpflanzen ausreißt, dieselben mit einem Stückchen Holz abstreift und das dabei ablaufende Wasser in einem reinen Medicinglase auffängt, das man darauf zukorkt, so enthält das aufgefangene Wasser fast immer Infusionsthierchen. Sie lassen sich Tage lang aufbewahren. Auch kann man sich dieselben verschaffen, indem man Blätter oder Gras mit Wasser übergießt und bei warmem Wetter eine bis zwei Wochen stehen läßt. Um sie zu beobachten, taucht man ein Holzstäbchen in die Flüssigkeit, bringt den sich anhängenden Tropfen auf die Glasplatte des Mikroskops und legt das Deckgläschen auf. Man sieht dann kugelförmige und anders gestaltete Thierchen sich mit Lebhaftigkeit vorwärts bewegen, plötzlich umkehren oder sich im Kreise drehen.

Versuch i. Die Insekten gewähren der mikroskopischen Beobachtung ein reiches Feld. Die Fühlhörner vom Maikäfer zeigen sehr deutlich die aus Blättern bestehenden Kolben, in die sie endigen; die der Mücke erscheinen fadenförmig und bestehen aus etwa 14 Gliedern. Die Flügeldecken von Libellen, Eintagsfliegen stellen unter dem Mikroskope schöne, von Blutgefäßen und Adern durchzogene Netze dar. Der Staub der Schmetterlingsflügel wird in Schuppen (Fig. 402) zerlegt, die durch Wurzeln an die Flügel befestigt sind; man trennt ihn von den Flügeln, indem man dieselben sanft gegen die Glasplatte drückt, an der er hängen bleibt. An den Füßen von Fliegen und Spinnen lassen sich leicht die Glieder unterscheiden, aus denen sie bestehen.

Fig. 402.



Versuch k. Blut. Wenn man sich die Haut geritzt oder gestochen hat, bringe man einen kleinen Tropfen Blut auf die Glasplatte, verdünne ihn mit etwas Zuckerwasser und lege ein Deckgläschen auf. Man sieht in dem Blute Kügelchen von gelbrother Farbe. Die Verdünnung mit Zuckerwasser ist darum nöthig, weil sonst die Menge der neben und über einander liegenden Blutkügelchen so zahlreich ist, daß man die einzelnen nicht unterscheiden kann.

Versuch 1. Haare. Man bringe ein Menschenhaar, zwischen der Glasplatte und einem Deckgläschen, unter das Mikroskop. Es stellt sich als eine hohle Röhre dar, und in ihr zeigt sich eine Flüssigkeit, welche dem Haare seine Farbe giebt.

§. 329. Fernröhre mit Objectivlinsen oder Refractoren.

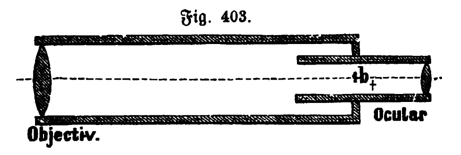
Was das Mikroskop für die Erforschung kleiner, aber naher Gegenstände leistet, dasselbe leistet das Fernrohr für entfernte Gegenstän- die wegen ihres beträchtlichen Abstandes klein erscheinen. Der Erfinder des zusammengesetzten Mikroskops, Zácharias Jansen oder Johannides ein Brillenmacher in der niederländischen Stadt Middelburg, ist wahr- scheinlich auch der Erfinder des ersten oder holländischen Fernrohr- welches aus einer erhabenen Objectivlinse und einem concaven Ocular zusammengesetzt ist. Nachdem Jansen schon früher kleinere Fernröhr- bis zu einer Länge von noch nicht 50 Cm. gefertigt hatte, gelang es ih- im Jahre 1609, ein großes Fernrohr, das sich zur Betrachtung d- Gestirne eignete, zusammenzustellen. Er überreichte es dem Prinz- Moritz von Nassau, erhielt von diesem eine ansehnliche Belohn- und sollte seine Erfindung, die im Kriege große Vortheile zu gewähr- versprach, als ein Geheimniß bewahren. Doch noch in demselben Ja- kam ein Fremder, der von der neuen Erfindung gehört hatte, n- Middelburg, um den Erfinder des Fernrohrs aufzusuchen; er ger- aber in das Haus eines andern Brillenmachers, Johannes Lap- oder Lipperseim, besprach sich mit ihm und ließ sich eine Anzahl - vexer und concaver Linsen anfertigen. Als er sie abholte, hielt er zwei, wie zu einem Fernrohr zusammengestellt, vor das Auge und - hindurch. So kam Laprey in den Besitz des Geheimnisses und zeig- ohne Werth darauf zu legen, den Vorübergehenden durch sein Fernro- die Wetterfahne auf einem Thurme sehr vergrößert und nahe gebracht bald strömte die Menge in großen Schaaren herbei, um sich durch eigen- Anblick von der Wahrheit der wunderbaren Gerüchte zu überzeuge- Galiläi, Professor zu Padua, erhielt 1609 Nachricht von der Erfindu- brachte nach der ihm gewordenen Beschreibung ein großes Fernrohr - Stande und machte damit in wenigen Monaten seine berühmten Entdeckunge- indem er auf dem Monde hohe Berge und tiefe Krater fand, indem - von mehreren Nebelflecken am Himmel zeigte, daß sie aus einzel- Sternen bestehen, und indem er zuerst die Jupitermonde erblickte. Galil- wurde, nachdem er von dem Großherzog von Toskana mit reichlichem Au- kommen nach Florenz berufen war, als schwacher Greis von 70 Jahren 163- von der Inquisition zu Rom gezwungen, die Wahrheit, daß die Erde - bewegt, abzuschwören; seit fünf Jahren erblindet, starb er 1642. —

Die Einrichtung des astronomischen Fernrohrs wurde 1611 von dem Astronomen Kepler in Vorschlag gebracht und zwei Jahr- später durch den Jesuiten Christoph Scheiner ausgeführt. Das Er- fernrohr ist von Rheita erfunden worden.

Von dem fernen Object wird in einem Fernrohr entweder durch eine große erhabene Objectivlinse oder durch einen großen Hohlspiegel ein objectives Bild entworfen, und dies Bild wird durch ein Ocular betrachtet, das die Dienste einer Loupe übernimmt. Es giebt daher zwei Classen von Teleskopen, solche mit Objectivlinsen, die man schlechthin Fernröhre nennt, und solche mit Hohlspiegeln, welche Spiegelteleskope heißen. Zu den Fernröhren mit Objectivlinsen gehören:

1. **Das astronomische Fernrohr,** das aus zwei erhabenen Linsen besteht. Die dem Gegenstande zugekehrte Objectivlinse ist groß, um recht viele Lichtstrahlen durchlassen und ein helles Bild entwerfen zu können. Sie ist flach gewölbt, wenig erhaben und hat darum auch eine große Brennweite, damit das umgekehrte Bild, das nahe dem Brennpunkt b entsteht, möglichst groß ausfalle. Das durch die Objectivlinse entworfene umgekehrte Bild wird durch das Ocular betrachtet; dasselbe ist eine Loupe und hat darum eine weit kürzere Brennweite. Es muß dem Bilde so nahe sein, daß dasselbe innerhalb seiner Brennweite liegt, was erreicht wird, wenn der Brennpunkt des Objectivs mit dem des Oculars in einen Punkt b zusammenfällt. Das astronomische Fernrohr ist mithin so lang, als die Brennweite seiner beiden Gläser zusammengenommen; es zeigt alle Gegenstände umgekehrt, was bei Betrachtung der Gestirne keineswegs ein Uebelstand ist.

Fig. 403.

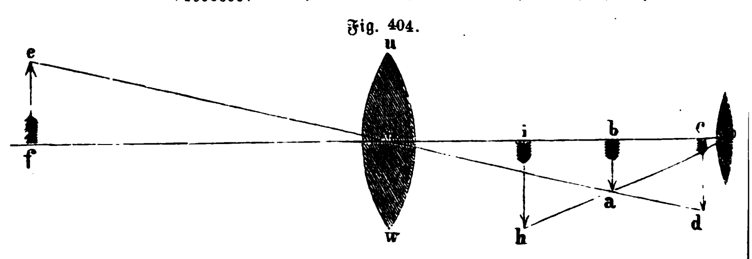


Um von der Seite her kommende, fremdartige Lichtstrahlen abzuwehren, sind die Gläser in Röhren gefaßt, welche inwendig geschwärzt sind. Beide Gläser in eine einzige Röhre unverschiebbar zu befestigen, würde unzweckmäßig sein. Denn das objective Bild von näheren Gegenständen entsteht in größerer Entfernung von der Objectivlinse, dem Ocular zu nahe; man muß deswegen das Ocular, in eine besondere Röhre gefaßt, entfernen und das Fernrohr auseinander ziehen können.

Bei jedem Fernrohr kommt es auf die Stärke der Vergrößerung, die Größe des Gesichtsfeldes und hinreichende Helligkeit an. Wovon hängt es nun ab, wie viel Mal ein Fernrohr vergrößert? Zunächst von der Größe des durch die Objectivlinse entworfenen Bildes. Vergleicht man die kleinen Bilder, welche zwei verschiedene Linsen von demselben entfernten Gegenstande darstellen, so wird man finden, daß eine Linse mit größerer Brennweite ein größeres Bild entwirft. Das umgekehrte Bild des fernen Objects ef liegt für jegliche Linse nahe dem Brennpunkte; zugleich liegt es aber auch zwischen den beiden gezeichneten Lichtstrahlen, welche ungebrochen mitten durch die Linse gehen. Hat eine Linse eine kürzere Brennweite, so entsteht das Bild in ba; hat sie eine größere Brennweite, so ist das entstehende Bild cd größer, als das erste Bild. Je größer daher die Brennweite einer Linse ist, desto größer ist das fast in ihrem Brennpunkt stehende Bild eines fernen Gegenstandes. Wäre das

Bild ebenso weit von der Linse entfernt, als der Gegenstand, so würde es mit ihm gleiche Größe haben. Wie aber seine Entfernung vom Glase, d. i. die Brennweite, nur einen kleinen Theil von der Entfernung des Gegenstandes ausmacht, so ist seine Größe auch nur ein kleiner Theil von der Größe des Gegenstandes. Und zwar muß die Größe des Bildes ebenso oft in der des Gegenstandes enthalten sein, als die Entfernung des Bildes vom Glase (die Brennweite) in der des Gegenstandes. Besitzt man ein Fernrohr, dessen Objectiv eine Brennweite von 94 Cm. hat, und richtet dasselbe auf einen 1000000 Cm. entfernten Gegenstand, so ist die Brennweite der $^{94}/_{1000000}$ste Theil von seinem Abstande, so hat auch das

Fig. 404.



durch diese Linse entworfene Bild nur den $^{94}/_{1000000}$sten Theil von der Größe des Gegenstandes. Dies Bild ist dem Beobachter aber viel näher, als das Object selbst, und ein gesundes Auge beobachtet es aus der Entfernung von 20 Cm., der Weite des deutlichen Sehens. Es ist dann so viel näher als der Gegenstand, als 20 Cm. in 1 Million Cm. enthalten ist, nämlich $^{1000000}/_{20}$ Mal; wäre das viel nähere Bild dem Gegenstande an Größe gleich, so würde es dem Auge ebenso vielmal so groß erscheinen; da das Bild aber nur dem $^{94}/_{1000000}$sten Theil des Gegenstandes gleichkommt, so erscheint es bei seiner großen Nähe auch nur $^{94}/_{1000000} \times {}^{1000000}/_{20} = {}^{94}/_{20}$ Mal so groß. Das ist die Wirkung der Objectivlinse. Das Bild wird aber nicht unmittelbar vom Auge beschaut, sondern mittels des Oculars. Zu jenem Objectiv gehöre als Ocular eine Loupe von 2. Cm. Brennweite; nach §. 327 vergrößert die Loupe so vielmal, als ihre Brennweite in der Sehweite von 20 Cm. enthalten ist, also $^{20}/_{2}$ Mal. Das $^{94}/_{20}$ Mal den Gegenstand an scheinbarer Größe übertreffende Bild wird mithin durch die Loupe $^{20}/_{2}$ Mal vergrößert. Folglich erscheint der Gegenstand $^{94}/_{20} \times {}^{20}/_{2} = {}^{94}/_{2}$ Mal vergrößert. 94 Cm. war aber die Brennweite der Objectivlinse, 2 Cm. die des Oculars; und es ergiebt sich: Das astronomische Fernrohr vergrößert so vielmal, als die Brennweite des Oculars in der des Objectivs enthalten ist. Die Vergrößerung fällt desto stärker aus, je größer die Brennweite des Objectivs und je kleiner die des Oculars ist. Die Brennweiten der Linsen lassen sich durch Versuche (§. 312 a) ermitteln. Um die vergrößernde Kraft kleiner Fernröhre, welcher Art sie auch seien, abschätzen zu lernen und mehrere mit einander zu vergleichen, sehe man zu, in welchen Abständen man mit den verschiedenen Instrumenten eine und dieselbe Druckschrift zu lesen im Stande ist. Man kann auch die Ziegel eines Daches oder die

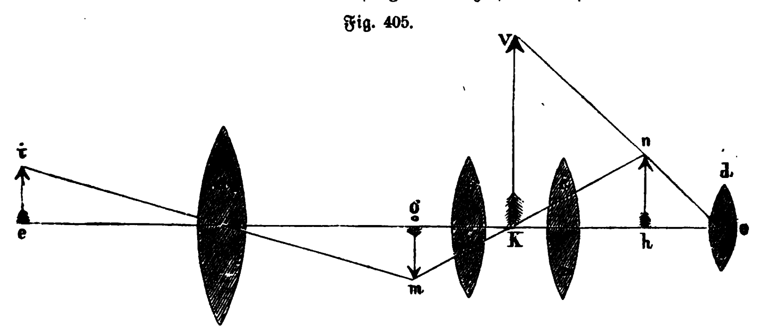
Theile eines lothrecht aufgestellten Maßstabes mit einem Auge durch das Fernrohr und gleichzeitig mit dem anderen, unbewaffneten Auge betrachten und ermitteln, wie viele mit dem bloßen Auge gesehene Theile dieselbe Länge haben, wie ein durch das Fernrohr gesehener Theil.

Je größer man die Brennweite des Objectivs, und je kürzer man die des Oculars wählt, desto mehr vergrößert das Fernrohr zwar; aber desto kleiner wird auch der Raum, den man mit Hülfe des Fernrohrs übersieht, das Gesichtsfeld. Zugleich nimmt bei kürzerer Brennweite des Oculars die Helligkeit ab; gleichwohl muß ein astronomisches Fernrohr eine solche Helligkeit gewähren, daß man am hellen Tage damit die Gestirne finden und beobachten kann. So beschränken sich die an ein Fernrohr zu stellenden Forderungen gegenseitig, und die Kunst des Optikers besteht darin, jeder ihr Recht wiederfahren zu lassen.

2. **Das Erdfernrohr.** Kein Fernrohr hat eine so große Helligkeit und Deutlichkeit, wie das astronomische; bei Betrachtung irdischer Gegenstände liegt aber der Wunsch nahe, dieselben nicht umgekehrt, sondern aufrecht zu erblicken. Dies läßt sich erreichen, indem man durch Linsengläser von dem umgekehrten Bilde des astronomischen Fernrohrs ein neues, zum zweiten Male umgekehrtes und darum aufrechtes Bild entwerfen läßt und dies durch das Ocular betrachtet. Durch Einschiebung zweier Linsen zwischen Objectiv und Ocular wird aus dem astronomischen ein die Gegenstände aufrecht zeigendes Fernrohr.

Das Erdfernrohr besteht aus einer großen Objectivlinse a und drei Ocular gläsern, die in die gemeinsame Ocularröhre gefaßt sind und gegen einander eine feste Stellung haben, in welcher stets der Brennpunkt des einen Oculars mit dem des folgenden zusammenfällt. Sie werden

Fig. 405.

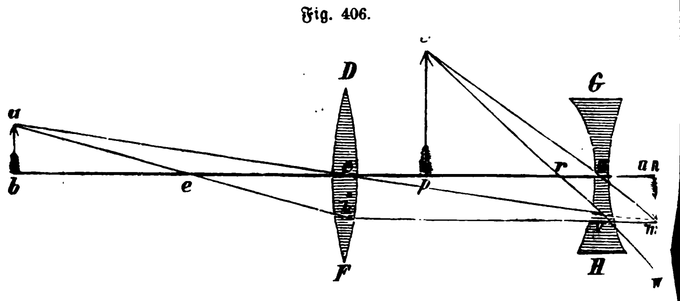


von dem Objectiv aus gezählt, und das ihm nächste als das erste Ocular bezeichnet. Das erste und das zweite Ocular, welche einander ganz gleich sind, wirken fast, wie eine einzige Linse, und entwerfen eine zum zweiten Mal umgekehrte und somit aufrechte objective Abbildung von dem durch das Objectiv hervorgebrachten Bilde. Dies aufrechte Bild hat gleiche Größe mit jenem umgekehrten, liegt innerhalb der Brennweite des letzten Oculars, durch welches das Auge schaut, und wird dadurch wie durch eine Loupe vergrößert. Das Erdfernrohr gewährt folglich dieselbe Ver-

größerung, wie ein astronomisches Fernrohr mit demselben Objectiv und demselben (letzten) Ocular.

3. Eine dritte Art von Fernröhren bildet das **holländische oder Galiläische Fernrohr,** das heutzutage in der Form von Feldstechern oder Operngucken in Gebrauch ist. Es ist aus zwei Linsen zusammenge... aus einer erhabenen Objectivlinse und einer Hohllinse als Ocu... Das Objectivglas DF hat eine größere Brennweite cn; im Vergleich ... ist die Zerstreuungsweite zu des Oculars GH nur kurz; beide G... sind so zusammengestellt, daß sich das Ocular innerhalb der Brennw... cn des Objectivs befindet, und der Zerstreuungspunkt u des Oculars ... dem Brennpunkt n des Objectivs nahe, aber noch innerhalb der Bren... weite desselben liegt. In diesem Fernrohr wird das Objectiv ... dazu benutzt, um ein wirkliches Bild zu entwerfen; wenigstens läßt m... es nicht zu Stande kommen, sondern fängt die Strahlen vorher durch ...

Fig. 406.



Ocularlinse auf, und diese giebt ihnen eine Richtung, als kämen sie ... einem innerhalb der Sehweite befindlichen Gegenstande. Ist ab ... ausreichender Entfernung aufgestellter Pfeil, der durch das Fernrohr ... trachtet wird, so würde das Objectiv, wenn das Ocular GH nicht ... wäre, ein umgekehrtes Bild nm des Pfeiles entwerfen; das Bild ... Pfeilspitze liegt auf dem ungebrochenen Hauptstrahl am und au... Strahl im, der mit der Axe bn parallel ist, weil der Strahl ai ... den Brennpunkt e seinen Weg genommen hat. Der mit der Axe para... Strahl iv fällt auf das Ocular und wird so gebrochen, daß er ins ... in der Richtung orvw gelangt, als wäre er durch den Zerstreuungs... r gegangen. Das Auge findet daher das Bild der Pfeilspitze auf ... Linie ow und zwar, wenn die Gläser zu einander richtig gestellt sind ... dem Punkte o, in der Sehweite von 20 Cm. Daraus ergiebt sich zun... daß das Bild aufrecht erscheint. Ferner ist die Sehweite pz grö... als die Zerstreuungsweite rz; denkt man sich das scheinbare Bild in ... Zerstreuungspunkte befindlich, so würde es ungefähr die Größe nm ha... je weiter aber der Strahl ov von der Axe in der Weite des deutli... Sehens abweicht, desto mehr vergrößert muß der Gegenstand ersche... Wie vielmal das holländische Fernrohr vergrößert, ergiebt ... auf ähnliche Weise, wie beim astronomischen Fernrohr. Die Größe ... durch das Objectiv entworfenen Bildes nm verhält sich zu der des Geg...

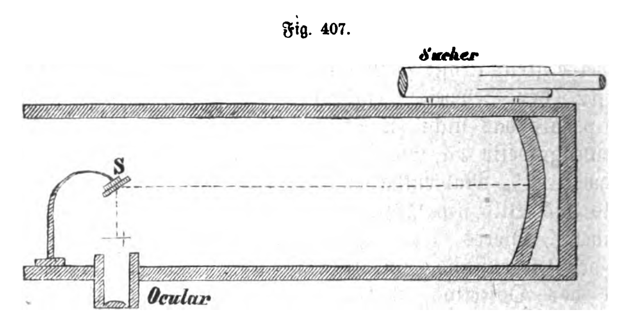
standes, wie die Brennweite cn zur Entfernung cb des Gegenstandes ab; beträgt die Brennweite 1 Cm., während der Gegenstand 200 Cm. entfernt ist, so kommt das Bild $^{1}/_{200}$ des Gegenstandes gleich; beträgt die Brennweite 30 Cm., so ist die Größe des Bildes $^{30}/_{200}$ von der des Gegenstandes. Nun können wir dies Bild in der Weite des deutlichen Sehens betrachten; betrüge diese 1 Cm., so wäre das Bild 200 Mal so nahe und erschiene $^{30}/_{200} \times 200$ Mal so groß, als der Gegenstand; da aber die Sehweite 20 Cm. beträgt, ist uns das Bild nur $^{200}/_{20}$ Mal so nahe und erscheint uns $^{30}/_{200} \times {}^{200}/_{20} = {}^{30}/_{20}$ Mal so groß, als der Gegenstand. 30 Cm. ist die Brennweite, 20 Cm. die Sehweite des Auges. **Man findet demnach die Größe des von entfernten Gegenständen durch eine erhabene Linse entworfenen Bildes, indem man die Brennweite der Linse durch die Sehweite dividirt.** Für die Wirkung des Oculars ist auf die Richtung der Strahlen om und pn zu achten; läge das vom Auge gesehene Bild op ebensoweit von z, wie nm von z entfernt ist, so erschienen beide gleich groß; so vielmal aber nz (die ungefähre Zerstreuungsweite) in pz (der Sehweite) enthalten ist, so vielmal so groß erscheint das Bild op, als das nicht zu Stande kommende Bild nm. Nimmt man die Zerstreuungsweite zu, die fast gleich zn ist, zu 6 Cm. an, so ist sie in der Sehweite $^{20}/_{6}$ Mal enthalten, und das gesehene Bild op ist $^{20}/_{6}$ Mal so groß, als das Bild nm; letzteres würde $^{30}/_{20}$ von der Größe des Gegenstandes haben; ersteres, op, erscheint darum $^{30}/_{20} \times {}^{20}/_{6} = {}^{30}/_{6}$ Mal so groß, als der Gegenstand. 30 Cm. ist aber nach unserer Annahme die Brennweite des Objectivs, 6 Cm. die Zerstreuungsweite des Oculars. **Wie vielmal daher ein holländisches Fernrohr vergrößert, findet man, indem man die Brennweite des Objectivs durch die Zerstreuungsweite des Oculars dividirt.** Weil die Strahlen, die aus dem Ocular austreten, stark auseinanderlaufen, empfängt das Auge nur von dem Theile des Objectivs, der sich gerade vor dem Auge befindet, Lichtstrahlen; deshalb ist das Gesichtsfeld des holländischen Fernrohrs nur klein, und da das Gesichtsfeld desto kleiner wird, je mehr das Fernrohr vergrößert, folgt, daß **eine bedeutende Vergrößerung durch das holländische Fernrohr nicht zu erreichen ist.** Die Theaterperspective vergrößern 2 bis 3 Mal.

§. 330. Spiegelteleskope oder Reflectoren.

In den Spiegelteleskopen, denen wir viele Entdeckungen in der Astronomie verdanken, wird das Bild des entfernten Objects nicht durch eine Objectivlinse, sondern durch einen **Hohlspiegel** entworfen. Bei Anwendung gewöhnlicher Linsen erlangt das Bild nur eine unvollkommene Deutlichkeit und hat bei starken Vergrößerungen farbige Ränder (§. 338). Vergebens hatte der große englische Naturforscher **Newton** nach einem Mittel gesucht, um dieselben zu beseitigen; endlich gab er es auf und kam auf den Gedanken, statt der Objectivlinse einen Hohlspiegel zur Herstellung eines Fernrohrs zu verwenden.

Das Newton'sche Spiegelteleskop, dessen Einrichtung das Mu
für neuere Spiegelteleskope geworden ist, enthält einen Hohlspiegel, de
man eine Größe bis zu einem Durchmesser von 2 M. und eine bedeuten
Brennweite (bis zu 15 M.) gegeben hat. Eine Röhre nimmt an ihr
einen Ende den Spiegel auf, ist an dem anderen Ende offen, wird v
einem Gerüst getragen und läßt sich durch mechanische Vorrichtungen
wegen. Von einem entfernten Gegenstande würde der Hohlspiegel au
halb seiner Brennweite, doch nicht weit von seinem Brennpunkte, ein
gekehrtes und verkleinertes objectives Bild entwerfen. Ehe jedoch
vom Hohlspiegel kommenden Lichtstrahlen sich zu einem Bilde verein
wird ihre Richtung geändert, indem sie auf einen kleinen ebe
Spiegel S fallen, welcher nahe der Oeffnung des Rohres so aufge
ist, daß er in seiner Mitte von der Axe des Hohlspiegels getroffen

Fig. 407.



und gegen dieselbe unter einem Winkel von 45 Grad geneigt ist.
dem kleinen Spiegel zurückgeworfen und genöthigt, einen anderen W
nehmen, vereinigen sich die Strahlen nahe der einen Wand des R
zu einem umgekehrt liegenden Bilde. Hier ist ein verschie
Seitenrohr mit einem Ocular angebracht, durch welches das
das objective Bild vergrößert erblickt. Weil man von der Seite he
das Newton'sche Spiegelteleskop sehen muß, ist auswendig an das g
Rohr, mit ihm gleichlaufend, ein kleineres Fernrohr befestigt, das
Aufsuchen des zu beobachtenden Gegenstandes angewandt und der Su
genannt wird. Da der ebene Spiegel nichts an der Größe des B
ändert, vergrößert ein Spiegelteleskop so vielmal, als die Brennweite
Oculars in der des Hohlspiegels enthalten ist.

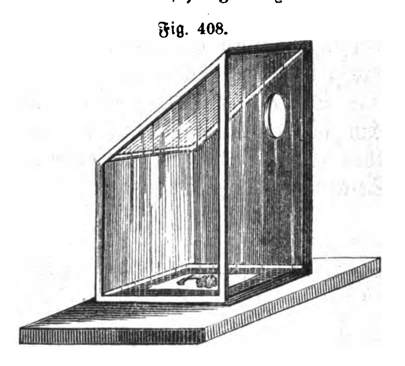
Mit einem Spiegelteleskop hat William Herschel seine berüh
Entdeckungen gemacht, den Planeten Uranus und seine Monde en
und zahlreiche Doppelsterne und Nebelhaufen genauer beobachtet. Er h
den kleinen ebenen Spiegel weggelassen und statt dessen den Hohlsp
so schief gestellt, daß das Bild nahe der Innenwand der Röhre entst
Der Beobachter sah von oben durch ein Ocular in die Röhre und erthe
dem unten am Gerüst stehenden Arbeiter durch ein Sprachrohr Anwei
wie er das Fernrohr stellen sollte. Das Teleskop ließ bei Beobach
der Fixsterne eine 3000malige Vergrößerung zu; bei Beobachtung

laneten begnügte man sich mit $^1/_{10}$ dieser Vergrößerung. Das Teleskop wurde unbrauchbar, nachdem in einer Nacht der Spiegel seine Politur erloren hatte; die 12 M. lange Röhre stellte man in wagerechter Lage ls Denkmal auf und die Verwandten des großen Astronomen begingen n der Röhre ein Familienfest zu seinem Andenken.

§. 331. Der Guckkasten und das Kosmorama.

Der **Guckkasten** enthält an seiner Vorderwand eine als Loupe dienende rhabene Linse und derselben gegenüber an der schrägen Hinterwand nen unter einem Winkel von 45 Grad eneigten ebenen Spiegel. Der rößte Theil der Hinterwand steht fen und läßt das Tageslicht oder ampenlicht auf die zu betrachtenden bbildungen fallen, welche Landschaften, ebäude oder größere Kunstwerke darellen. Die Bilder werden unten in n Guckkasten wagerecht und für das schauende Auge verkehrt eingeschoben; erscheinen in dem schrägen Spiegel ich §. 301 c aufrecht und, durch e Loupe betrachtet, vergrößert, so ß sie sich in ihrer natürlichen Größe darstellen.

Fig. 408.



Eine Reihe neben einander aufgestellter großer Guckkasten nennt man n **Kosmorama.** Seine Bilder müssen, obwohl in verkleinertem Maßibe, doch treu nach der Natur gemalt sein; sie stellen interessante Gegenden mder Länder und Erdtheile dar und gewähren für die Weltkunde lehriche Anschauungen.

Im Diorama und Panorama dagegen zeigen die Gemälde selbst on die Gegenstände in natürlicher Größe. Das Panorama ist ein eisförmig um den Beschauer aufgestelltes Rundgemälde; die Ansicht ıer Stadt, eines Hafens oder einer Landschaft ist von einem hochgeenen Standpunkte aus so gemalt, wie sie dem nach allen Seiten schauenden ige erscheint. In einer Rotunde aufgehängt und von oben her durch s Tageslicht beleuchtet, macht das Gemälde auf den innerhalb desselben f einer Gallerie stehenden Beschauer denselben Eindruck, als sähe er dargestellten Gegenstände selber. — Im Diorama erblickt das Auge r einen Theil einer Aussicht, durch einen Rahmen, etwa wie sie, rch einen Fensterrahmen gesehen, sich ausnehmen würde. Das Gemälde durchscheinend und empfängt sein Licht durch ein Fenster, vor dem es fgehängt wird; zwischen ihm und dem Fenster sind mehrere Vorhänge ı verschiedener Farbe und Schattirung angebracht und können so geınet und zusammengestellt werden, daß irgend eine beabsichtigte Bechtung oder tiefer Schatten auf das Bild fällt, je nachdem heiterer mmel, Sonnenschein oder dunkle Wolken sich zeigen sollen. Der Vesuv

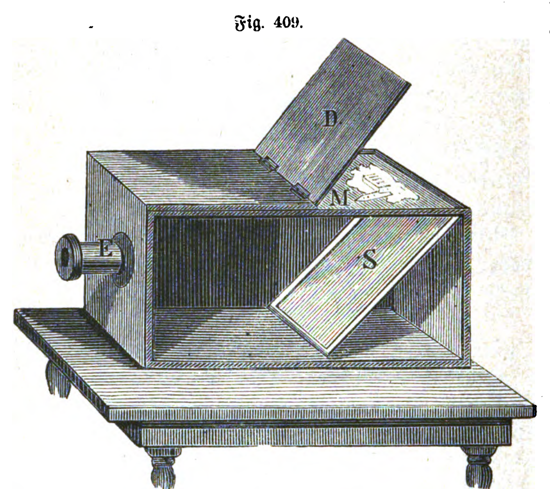
beim Aufgang des Mondes oder das Innere eines Doms, zuerst dun
und dann hell beleuchtet, sind Gegenstände für ein Diorama.

§. 332. Die camera obscura und die Photographien.

Die Loupe und der Guckkasten, das Mikroskop und die Fernrö
bringen kein objectives Bild hervor, das von Mehreren zugleich geseh
werden könnte, wie es bei den Gemälden des Panoramas und Diorama
der Fall ist. Sondern das durch ein Glas schauende Auge erblickt
Bild, und zwar ein subjectives Bild. Daher werden die genannten Ve
richtungen als subjective optische Instrumente bezeichnet. Dagegen e
werfen die nun folgenden, objectiven Instrumente ein objectives B
das Vielen zugleich sichtbar ist.

Die dunkle Kammer, **camera obscura,** ist leicht anzuferti
Ein viereckiger, inwendig geschwärzter Kasten aus Pappe oder Holz
oben einen Deckel, der sich emporklappen läßt, und in der Mitte der ei
Seitenwand eine Oeffnung. In diese läßt sich eine Röhre mit einer
habenen Linse sch
die Röhre kann man
Pappe arbeiten un
Linse zwischen
Ringen aus Drat
klemmen. Ihr geg
wird ein unter
Winkel von 45 Gra
neigter ebener Spi
S aufgestellt und
Papierstreifen, die
seine Ränder und an
Kasten zu kleben sind
festigt. Die Linse ent
von entfernten Ge
ständen, besonders
dieselben im Son
schein sich befinden

Fig. 409.



kleines Bild; durch den Spiegel aber werden die Lichtstrahlen so zur
geworfen, daß das Bild oben über ihm in wagerechter Lage sich dar
Um dasselbe aufzufangen, bedeckt man, nachdem der Deckel emporgeklapp
die Oeffnung M entweder mit einem matt geschliffenen Glase oder
einer gewöhnlichen Glasscheibe, über die geöltes Seidenpapier gelegt
an ihre Ränder festgeklebt ist, oder endlich nur mit Seidenpapier,
man über einen Rahmen von Pappe gezogen hat. Der Deckel D k
damit er sich leicht öffnen lasse, links mittels eines Stückchens Leder
Zeug an den Kasten geleimt werden; er dient, um auch den Raum
der Glas= oder Papierscheibe dunkel zu erhalten, und kann daher
auf beiden Seiten mit senkrechten Anhängen von starkem Papier versch

ein, die an die Außenwände des Kastens anschließen. Die Röhre mit der Linse muß man in eine solche Stellung schieben, bei der das Bild deutlich und scharf hervortritt. Die ruhenden Gegenstände, Häuser und Bäume, geben auch ruhende Bilder, und die über die Straße sich bewegenden Menschen und Thiere scheinen auch über das Bild hinwegzueilen.

Die Photographien. Längst wußte man, daß das Sonnenlicht chemische Zersetzungen bewirkt, und strebte danach, mittels seiner zersetzenden Kraft die naturgetreuen Bilder der camera obscura festzuhalten. Erst nach vielen mühsamen Versuchen ist dies im Jahre 1839 dem Decorationsmaler Daguerre zu Paris gelungen. Nach dem von ihm angegebenen Verfahren nahm man eine versilberte Kupferplatte und setzte sie den Dämpfen von Jod aus, so daß sich Jodsilber bildete. Die jodirte Platte schob man in die camera obscura. Durch die Einwirkung des Lichtes wurde das Jodsilber zersetzt, und wenn man die Platte nun in einen Kasten mit heißen Quecksilberdämpfen brachte, so setzten sich feine Kügelchen von Quecksilber an die Stellen der Platte, auf welche das Licht eingewirkt hatte, und bildeten das Bild. Das nicht zersetzte Jodsilber entfernte man, indem man die Platte in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron tauchte.

Bald nach Daguerre's Erfindung machte der Engländer Talbot ein Verfahren bekannt, um Lichtbilder auf Papier oder Photographien herzustellen. Dies Verfahren beruht darauf, daß Jodsilber durch das Licht in Jod und Silber zersetzt wird. Es wird zuerst ein **negatives Bild** oder ein Bild hergestellt, in welchem die hellen Theile des Gegenstandes dunkel, und die dunklen Theile des Gegenstandes hell erscheinen, so daß die Vertheilung von Licht und Schatten auf dem Bilde der an dem Gegenstande gerade entgegengesetzt ist. Dies negative Bild wird dann benutzt, um ein **positives Bild** oder ein solches Bild zu gewinnen, in welchem die hellen Stellen des Gegenstandes sich hell, und die dunklen dunkel darstellen.

Wenn man, wie es sehr verbreitet ist, für die **Anfertigung des negativen Bildes** Glas anwendet, so lassen sich dabei 4 Operationen unterscheiden:

1) das Jodiren der Glasplatte,
2) die Exposition oder Einwirkung des Lichts in der camera obscura,
3) das Deutlichmachen des Bildes,
4) das Fixiren des Bildes.

Man nimmt eine geschliffene Glastafel und überzieht sie in einem fast dunklen Raum, der sein Licht entweder durch ein gelbes Fenster oder eine schwach leuchtende Kerze erhält, auf einer Seite mit einer dünnen Schicht Collodium (§. 154 c), welchem Brom- und Jodsalze zugesetzt sind. Diese Flüssigkeit wird auf die Mitte der Glastafel gegossen und durch Neigen derselben so ausgebreitet, daß sie eine dünne, gleichmäßig vertheilte Schicht bildet. Während dieselbe noch feucht ist, wird die Tafel an zwei Schnüren in lothrechter Stellung schnell in ein schmales Gefäß hinabgelassen, welches mit einer Auflösung von salpetersaurem Silber-

oxyd gefüllt ist. Es bildet sich auf der Oberfläche der Tafel eine Schic
von **Brom und Jodsilber.**

So vorbereitet, wird die Glastafel in einen mit einem Schieber ve
sehenen Rahmen gebracht und sammt demselben in die camera obscu
geschoben. Die für das Photographiren eingerichtete camera obscu
besteht aus zwei in einander schiebbaren Kasten und enthält keinen Spie
Wo das durch die Linsen D entworfene Bild entsteht, bei R, läßt m
der die jodirte Glastafel enthaltende Rahmen einschieben. Man rich
das Instrument auf den abzubildenden Gegenstand, setzt bei R eine ma
geschliffene Glasscheibe ein und stellt die Theile der camera so, daß
dieser Glasscheibe ein de
liches Bild erscheint. D
wird die Röhre mit d
Linsen D durch e
Deckel verschlossen, u
die mattgeschliffene G
scheibe entfernt. Da
setzt man bei R den Rahm
mit der jodirten G
tafel ein, zieht seinen S
ber in die Höhe und e
fernt rasch den Deck
von den Linsen. Es

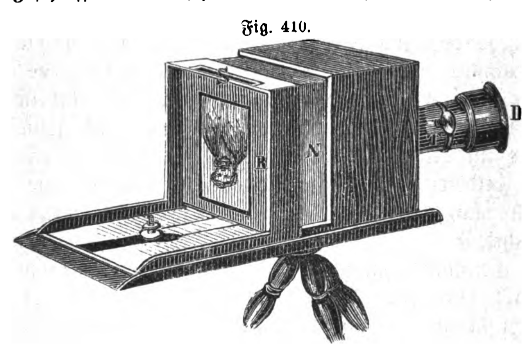


Fig. 410.

ginnt die Einwirkung des Lichts. Die Dauer derselben schw
zwischen 0,1 Secunde und einer Minute und ist durch Uebung zu fin
Glaubt der Photograph, daß der rechte Zeitpunkt gekommen sei, so sch
er den Schieber und trägt den geschlossenen Rahmen in sein dun
Arbeitszimmer. Die Einwirkung des Lichts hat die Zersetzung d
Jodsilbers zur Folge, welche am vollständigsten da eintritt, wo die hell
Stellen des Gegenstandes sich abbilden.

Unmittelbar nach der Einwirkung des Lichts ist das Bild noch u
sichtbar; es kommt deshalb darauf an, das Bild deutlich hervorz
rufen. Zu diesem Zwecke wird die Collodiumtafel mit einer Lösung v
Eisenvitriol übergossen; diese bewirkt, daß das Jod sich von den du
das Licht getroffenen Stellen ablöst, und das Silber als schwar
Körper zurückbleibt.

Zuletzt wird das negative Bild gegen die weitere Einwirkung d
Lichts geschützt oder fixirt, indem man die Tafel in eine Auflösung v
unterschwefligsaurem Natron legt und sie mit Wasser abspült. Da
durch wird das nicht zersetzte Jodsilber entfernt. Häufig schützt man d
Tafel noch, nachdem sie trocken geworden ist, durch den Ueberzug m
einem hellen Firniß.

Das fixirte negative Bild dient zur **Anfertigung der positiven Bilder.** Das Papier dazu wird folgendermaßen zubereitet: Ein Sc
glattes Papier legt man auf eine Lösung von Kochsalz in Eiweiß u
Wasser, läßt das Papier eine bis zwei Minuten darauf schwimmen un

rocknet es ein Wenig zwischen Fließpapier. Nach dem Entfernen desselben wird das feuchte Blatt auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd gelegt und zwischen Fließpapier getrocknet; dabei hat sich das Papier mit Chlorsilber überzogen, welches für die Einwirkung des Lichts ebenso empfindlich ist, wie Jodsilber.

Ueber das Chlorsilberpapier legt man das negative Bild und setzt es in einem Rahmen so der Einwirkung des Tageslichtes aus, daß die Lichtstrahlen nur durch das negative Bild zu dem Papier gelangen können. Durch die dunklen Stellen des Bildes gelangen nur wenig Strahlen, sie bleiben daher auf dem Papier hell; umgekehrt dringt viel Licht durch die hellen Theile des negativen Bildes und macht die entsprechenden Stellen des Papiers dunkel. Es entsteht auf dem Papier ein Bild mit naturgemäßer Vertheilung von Licht und Schatten, ein positives Bild.

Die Fixirung des positiven Bildes geschieht, indem man es in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron legt, mehrmals mit reinem Wasser abwäscht und zwischen Fließpapier ganz trocken werden läßt.

Von sehr kleinen Gegenständen stellt man stark vergrößerte Photographien her, indem man das durch ein Sonnenmikroskop (§. 334) entworfene Bild auf photographisch präparirtem Glas oder Papier auffängt. Umgekehrt fertigt man auch sehr kleine Photographien, Mikrophotographien, die kaum die Größe eines Stecknadelknopfes haben und durch ein Mikroskop betrachtet werden. Man stellt zuerst auf Glas ein negatives Bild her, so groß, wie zu den gewöhnlichen Visitenkartenbildern. Von diesem negativen Bilde läßt man sodann durch eine Linse mit kurzer Brennweite, aus der Entfernung von 1 M., ein sehr kleines Bild entwerfen und läßt dasselbe auf eine Glasplatte einwirken, die mit Collodium und Jodsilber überzogen ist. Durch Verschieben der Glasplatte bewirkt man, daß auf ihr Dutzende von kleinen Bildern entstehen. Dieselben werden auf die gewöhnliche Weise deutlich gemacht und fixirt; dann schneidet man mit einem Diamant die einzelnen Bilder aus und befestigt jedes Glasstückchen, auf dem sich ein Bild befindet, in das eine Ende einer kleinen Röhre; das andere Ende der Röhre enthält ein einfaches Mikroskop, durch welches die kleine Photographie betrachtet und vergrößert wird.

Für die Weltausstellung zu Paris 1867 lieferte ein dort wohnender Photograph, Dagron mit Namen, eine Photographie von der Größe eines Stecknadelknopfes, auf der man mittels eines Mikroskops die Brustbilder von 400 Abgeordneten erkannte. Als nun 1870 Paris durch die deutschen Truppen eingeschlossen war, konnte die Hauptstadt Mittheilungen aus den Provinzen nur durch Brieftauben (§. 243) erhalten. Eine Taube darf nur mit einer geringen Last beschwert werden, damit sie am Fliegen nicht gehindert werde; man wünschte aber recht ausführliche Nachrichten aus den Provinzen zu erhalten. Da erbot sich Dagron, für die Taubenpost mikroskopische Depeschen zu liefern; mit mehreren Photographen und den nöthigen Apparaten verließ er am 12. November 1870 in der Gondel eines Luftballons Paris; beinahe wäre er den Deutschen

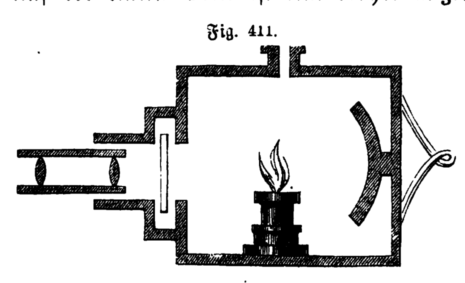
in die Hände gefallen. Nur mit Mühe entkamen die Photographen samm ihren Apparaten und errichteten in Bordeaux, Tours und anderen Städ Frankreichs Werkstätten zur Herstellung mikroskopischer Depeschen. D mitzutheilenden Nachrichten wurden auf große Papierbogen gedruckt; vo denselben wurden auf Blättchen von 4 Cm. Länge und 2,5 Cm. Bre kleine Photographien hergestellt, welche von dem Raum des Originals d achthundertsten Theil einnahmen. Zwanzig solcher Blättchen aus se dünnem, fast durchsichtigem Papier wurden zusammengerollt, in ein Federkiel geschoben und an das Gefieder einer Brieftaube befestigt; wogen sammt dem Federkiel kaum 1 Gr. Diese Depeschen konnten ohn Mikroskop von keinem gelesen werden; waren sie aber in Paris angelan so wandte man ein photoelektrisches Mikroskop an (§. 334) und ließ du dasselbe auf einer weißen Wand ein ausreichend vergrößertes Bild d Depesche entstehen. In den von Dagron eingerichteten Werkstätten wur 466 Druckbogen photographirt, so daß der Umfang der Correspond ganz bedeutend gewesen ist.

§. 333. Die laterna magica und die Nebelbilder.

Bei der camera obscura befindet sich der abzubildende, beleuc Gegenstand *außerhalb* des Instruments, und *dasselbe* wird dunke halten. Umgekehrt befindet sich bei der laterna magica der abzubild hell beleuchtete Gegenstand *innerhalb* des Instrumentes, und der S außerhalb desselben muß dunkel sein.

Die **laterna magica** oder *Zauberlaterne* enthält in einem häuse eine Lampe, einen kleinen Hohlspiegel und zwei erhabene Li Das laternenähnliche *Gehäuse* ist aus Blech gearbeitet, ringsum schlossen und nur oben mit einer Abzugsöffnung für den Rauch verse Auf der linken Seite ist eine Röhre angelöthet, welche zur Aufnahme die Linsen enthaltenden Rö dient; und auf einer der an stoßenden Seiten findet sich gut anschließende Thür, dur welche eine brennende La eingebracht wird. Die Lam steht im Brennpunkt eines klei metallenen Hohlspiegels, der *Beleuchtungsspiegel* di und ihr Licht wird von de selben auf die abzubildenden Gegenstände geworfen; diese sind mit durch scheinenden Farben auf Glasstreifen gemalt und werden durch eine Oeffnu zwischen der Lampe und den Linsen eingeschoben. Die nahe beisamme stehenden *Linsen* wirken, wie eine einzige, stärker gewölbte, und hab den Vorzug, daß sie dem Bilde eine größere Helligkeit geben. Durch wird in weiterer Entfernung ein umgekehrtes und vergrößertes objectiv Bild entworfen und auf der Wand eines dunklen Zimmers oder auf ein

Fig. 411.



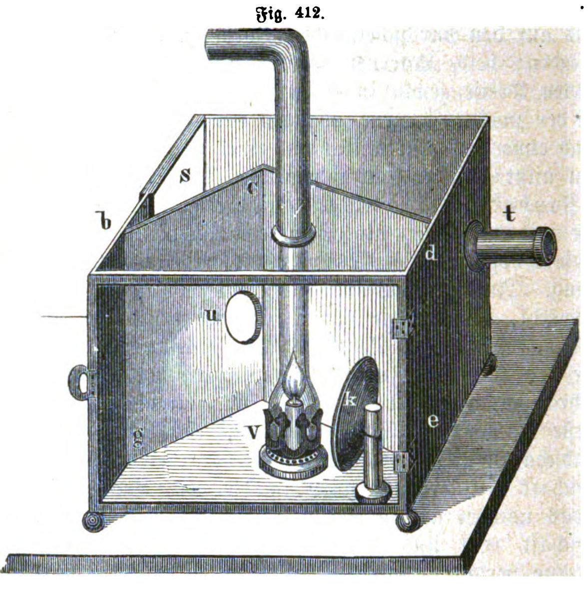
durchscheinenden Vorhange aufgefangen. Damit die Bilder aufrechte Stellung erhalten, müssen die bemalten Glasstreifen verkehrt eingeschoben werden.

Der zur Darstellung der **Nebelbilder** dienende Apparat, das Agioskop, besteht aus zwei gleichen Zauberlaternen. Jede derselben wirft, so lange noch keine Glasstreifen mit Bildern eingeschoben sind, einen hellen Kreis auf den durchscheinenden Vorhang, vor welchem sich die Zuschauer befinden; beide Laternen werden nun so gerichtet, daß die durch sie beleuchteten Kreise genau in einen zusammenfallen. Sodann wird die Flamme in der zweiten Laterne möglichst klein erhalten, ein Schirm davorgebracht, und etwa ein Glasstreifen mit einer Winterlandschaft eingeschoben, die sich jetzt nicht auf dem durchscheinenden Vorhang darstellen kann. In die erste Zauberlaterne dagegen mit hellglänzendem Lichte wird ein Glasstreifen mit derselben, als Sommerlandschaft gemalten Gegend eingesetzt. Sofort erscheint diese Sommerlandschaft in voller Deutlichkeit auf dem Vorhang. Indem man aber das helle Licht der ersten Laterne allmählich schwächt, verliert die Landschaft ihre deutlichen Umrisse und erscheint unklar und wie in Nebel gehüllt. Gleichzeitig entfernt man den Schirm vor der zweiten Zauberlaterne mit der Winterlandschaft und vermehrt ihre leuchtende Kraft; sobald sie hinreichend hell brennt, und vor die erste Lampe der Schirm gebracht ist, tritt an die Stelle der Sommerlandschaft, aus dem Nebel sich hervorarbeitend, die hell beleuchtete Winterlandschaft. Unterdessen wird in die erste Laterne ein neues Bild geschoben, das nachher an die Stelle der zuletzt in Nebel verschwimmenden Winterlandschaft tritt und später wieder durch ein anderes Bild der zweiten Laterne verdrängt wird. Nach den Bildern wird häufig das mit dem Namen der **Chromatropen** bezeichnete Linien- und Farbenspiel gezeigt. Zwei runde Glasscheiben sind mit regelmäßigen, sternförmigen Figuren bemalt; sie befinden sich hinter einander an der Stelle in der laterna magica, welche sonst die bemalten Glasstreifen einnehmen, und lassen sich um eine gemeinsame Axe, aber nach entgegengesetzten Richtungen, umdrehen. Durch ihre schnellere oder langsamere Umdrehung entstehen in dem Bilde auf dem Vorhange Rosetten und Sterne in steter Abwechslung und einem bunten, das Auge ergötzenden Farbenspiel.

Die laterna magica in ihrer alten Einrichtung leidet an dem Uebelstande, daß die Bilder für dieselbe mit durchscheinenden Farben gemalt sein müssen und bei sorgfältiger Ausführung theuer werden. Von diesem Uebelstande ist die von dem Optiker A. Krüß zu Hamburg, Adolphsbrücke 7, erfundene Einrichtung der Zauberlaterne frei. Die Krüß'sche Wundercamera bildet einen viereckigen Blechkasten, der durch eine Zwischenwand bcdeg in zwei Räume getheilt wird. In den einen Raum lassen sich durch Oeffnen einer Thür bei S die Gegenstände, Münzen, Porzellanfiguren, Büsten oder Photographien einbringen, von denen ein Bild im dunklen Zimmer entworfen werden soll. Dem Gegenstand S gegenüber sind die Linsen t angebracht, die das Bild entwerfen. Der Gegenstand erhält seine Beleuchtung aus dem andern Raum. In diesen wird durch eine Thür eine zweckmäßig eingerichtete Lampe v eingebracht, hinter

der sich ein Hohlspiegel k befindet; das von der Lampe ausgehende und vom Hohlspiegel zurückgeworfene Licht trifft eine in der Zwischenwand angebrachte erhabene Linse, welche die Lichtstrahlen sammelt und auf den abzubildenden Gegenstand S so lenkt, daß derselbe recht h...

Fig. 412.

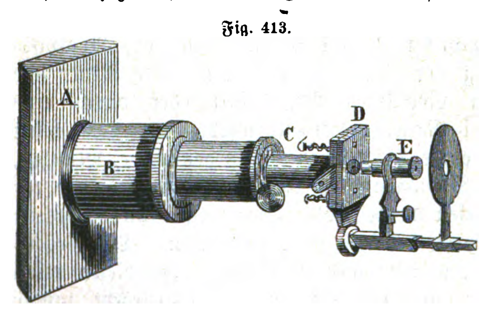


beleuchtet wird; das Bild des Gegenstandes erscheint vergrößert auf ein... 2 Meter entfernten weißen Wand oder auf einem Schirm von Pap..., das durch Tränken mit Brennöl durchscheinend gemacht ist. Das B... zeigt die natürlichen Farben des Objects.

§. 334. Das Sonnenmikroskop und das Hydro-Oxygenmikroskop.

Die objectiven Mikroskope stellen auf einem weißen Schirm von ... kleinen Gegenständen stark vergrößerte, vielen Zuschauern sichtbare Bilder dar, und zwar, wie die Zauberlaterne, im dunklen Zimmer.

Fig. 413.



Beim **Sonnenmikroskop** geschieht die Beleuchtung des kleinen Objects durch das Sonnenlicht; vor der Öffnung in einem Fensterladen A ist ein ebener Spiegel angebracht, dessen Stellung ... vom Zimmer aus durch eine Schraube verändern läßt. Er wird so gestellt, daß er die auf ihn fallenden Sonnen...

strahlen durch die Oeffnung des Ladens ins Zimmer wirft. In die Oeffnung aber ist eine Röhre mit einer erhabenen Beleuchtungslinse bei B eingesetzt; dieselbe vereinigt die auf sie fallenden Strahlen; eine zweite Beleuchtungslinse bei C vereinigt die Strahlen in ihrem Brennpunkt und bringt in demselben eine stärkere Beleuchtung hervor. In ihrem Brennpunkt wird das kleine Object zwischen zwei Platten D eingeschoben, und von ihm entwirft in dem dunklen Zimmer die kleine mikroskopische Linse E ein beträchtlich vergrößertes Bild. Die starke Beleuchtung wird darum nöthig, weil das auf das Object fallende Licht sich auf die große Fläche ausbreitet, welche das Bild ausfüllt, und mit zunehmender Vergrößerung dessen Helligkeit rasch abnimmt.

Weil der Gebrauch des Sonnenmikroskops auf eine bestimmte Tageszeit beschränkt und vom Wetter abhängig ist, hat man das Drummond'sche Kalklicht (§. 288) zur Beleuchtung angewandt und aus dem Sonnenmikroskop ein **Hydro-Oxygen-Mikroskop**, d. i. Wasserstoff-Sauerstoff-Mikroskop, gemacht. Es hat seinen Namen davon, daß die Beleuchtung durch ein Kalkstückchen geschieht, welches in einer Flamme von Wasserstoff und Sauerstoff weißglühend erhalten wird. Man denke sich, wie es auch für die Nebelbilder zweckmäßig ist, dies glühende Kalkstück an die Stelle der Lampe in der laterna magica gesetzt und deren Linsen mit einer mikroskopischen Linse vertauscht. In ähnlicher Weise benutzt man auch das elektrische Kohlenlicht zur Beleuchtung der Objecte. Das Mikroskop wird dann **photoelektrisches Mikroskop** genannt.

So stehen den subjectiven optischen Instrumenten die objectiven gegenüber, doch ohne ihnen in ihren Leistungen ganz gleich zu kommen. Was unter den subjectiven Instrumenten die Loupe und der Guckkasten, das ist unter den objectiven die laterna magica; dem zusammengesetzten Mikroskop stellt sich das Sonnen- und das Gas-Mikroskop zur Seite; und wie die Fernröhre zur Betrachtung, so dient die camera obscura zur Abbildung entfernter Gegenstände.

Das farbige Licht.

§. 335. Zerlegung des weißen Sonnenlichtes in farbiges Licht.

Für die folgenden Versuche wird ein Prisma erfordert. Ein Prisma ist eine dreiseitige Säule aus Glas, Wasser oder einem anderen durchsichtigen Stoffe. Am billigsten kann ein Wasserprisma hergestellt werden. Man läßt sich vom Tischler aus hartem Holz eine dreiseitige Säule anfertigen; jede der Kanten bc, cd, db sei 5 Cm. lang, und jede Seitenkante ab, ci, dk erhalte eine Länge von 8 Cm. Aus dieser Säule lasse man ein Stück herausnehmen, so daß zwei dreieckige Brettchen bcd und ik übrig bleiben, die unten, bei ab, durch ein dreiseitiges Stäbchen

verbunden sind. Die Dicke ec und im der Brettchen betrage 1,5 Cm.; dieselbe Dicke erhalte das Verbindungsstäbchen bei ab. Auf diese We[ise] hat man einen dreiseitigen Rahmen hergestellt, der auf zwei Seiten dur[ch] Glasscheiben verschlossen werden soll, oben aber, bei mnhe, offen blei[bt]. Von einem Glaser läßt man sich zwei gleich große Streifen aus weißem Fensterglas schneiden, welche die Gestalt eines Rechtecks, eine Länge von 7 Cm. und eine Breite von 4,5 Cm. haben. Diese Streifen werden mit Siegellack so auf den hölzernen Rahmen gekittet, daß sie, während ab sich unten befindet, die Vorder- und die Hinterwand des Wasserprismas bilden. Man überzieht zuerst das Holz da, wo die Glasstreifen aufgekittet werden sollen, mit Siegellack. Dann faßt man jeden der Glasstreifen an einer seiner längeren Kanten me [oder] nh, die oben angebracht werden soll, [mit] einer Drahtzange, erwärmt das Glas, [in]dem man es über der Flamme einer Spirituslampe hin und her bew[egt,] langsam so stark, daß es beim Berühren des Siegellacks diesen zum Schm[elzen] bringt, und drückt die drei Ränder des Glasstreifens auf den Siegellack, [mit] dem man den Holzrahmen überzogen hat. Beide Glasplatten sollen nach [dem] Erkalten wasserdicht schließen. Beim Gebrauch füllt man das hohle Pri[sma] mit Wasser. Man hält das Wasserprisma so mit der Hand, daß [die] Kante ab sich unten befindet. Will man das Prisma durch ein Ge[stell] tragen lassen, so muß man vor dem Aufkitten des Glases in ein[es der] dreieckigen Brettchen bcd oder aik ein dünnes Stäbchen oder einen Dr[aht] einfügen, welcher dieselbe Richtung erhält, welche die Kante ab hat. [Das] freie Ende dieses Drahtes schiebt man wagerecht durch den Kork auf [einer] Flasche oder klemmt ihn in einen Retortenhalter (§. 232).

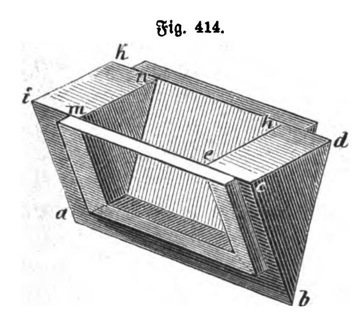


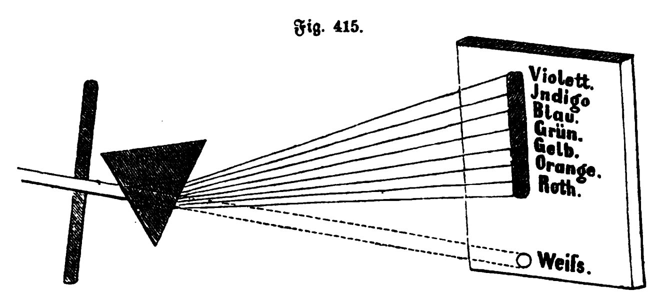
Fig. 414.

Versuch. In einem Zimmer, in welches die Sonnenstrahlen fa[llen,] halte man nicht weit von dem Fenster einen Bogen von Pappe oder star[kem] Papier, durch dessen Mitte eine kleine Oeffnung gebohrt ist, in lothre[chter] Stellung. Das weiße, farblose Sonnenlicht dringt durch die Oeffnung [des] Schirms hindurch, und unten auf der gegenüberliegenden Wand oder be[sser] auf einem dort aufgestellten Bogen Papier entsteht ein weißes, run[des] Sonnenbild.

Nun lasse man aber die Sonnenstrahlen durch das Prisma ge[hen,] dessen eine Kante unten liegt, und das nahe der Oeffnung des Schirm[s] gehalten wird. Wegen der Brechung erscheint das Sonnenbild nicht m[ehr] an seiner früheren Stelle; die Strahlen werden beim Eintritt und bei[m] Austritt aus dem Prisma nach oben gebrochen, und das Bild rückt in [die] Höhe. Aber auch die Gestalt des Bildes ist eine andere geworden; [die] Lichtstrahlen haben sich in Folge der starken Brechung fächerförmig a[us]gebreitet, und statt eines Kreises nimmt man einen länglichen Strei[fen] wahr, der oben und unten durch Bogen begrenzt wird. Er ist nicht me[hr]

weiß, sondern zeigt, von unten nach oben gezählt, die sieben Regenbogenfarben oder prismatischen Farben: Roth, Orange, Gelb, Grün,

Fig. 415.



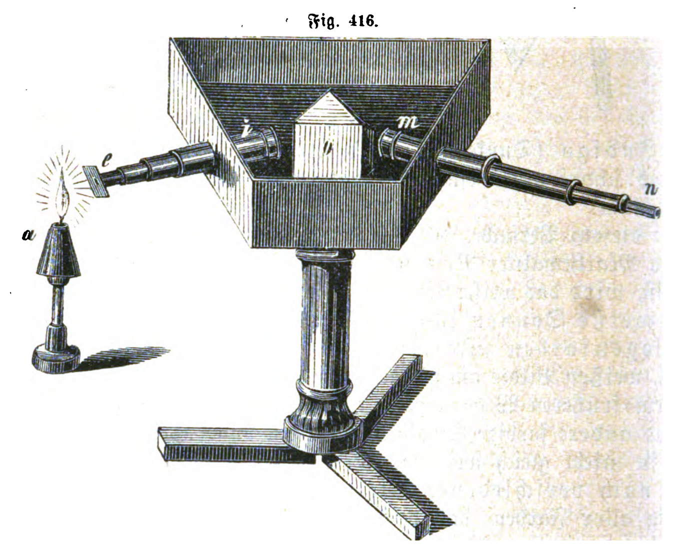
Blau, Indigo (Dunkelblau) und Violett. Doch sind diese Farben keineswegs scharf gegen einander abgegrenzt, sondern gehen allmählich in einander über.

Bei diesem Versuche, der mit der größten Genauigkeit 1666 von dem englischen Mathematiker Newton in einem verfinsterten Zimmer angestellt worden ist, wird das weiße Licht durch Brechung in Farben zerlegt. Folglich ist das weiße Sonnenlicht nicht einfach, sondern aus den sieben Regenbogenfarben zusammengesetzt. Das Roth liegt der Stelle des früheren, weißen Bildes am nächsten, die rothen Strahlen sind am wenigsten von ihrem früheren Wege abgelenkt und am schwächsten gebrochen. Wenn rothe und andere farbige Strahlen durch ein und dasselbe Prisma gehen, so werden sie nicht gleich weit von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, sondern nach verschiedenen Stellen hin gebrochen. Geht daher eine Mischung aller Farben, das heißt, weißes Licht, durch ein Prisma, so werden die darin enthaltenen violetten und blauen Strahlen weit stärker und an ganz andere Orte hin gebrochen, als die gelben und rothen. Was zuvor beisammen und gemischt war, ist jetzt getrennt und vereinzelt. Jede der prismatischen Farben ist einfach und läßt sich nicht weiter zerlegen. Um dies darzuthun, bohrt man eine Oeffnung in den Schirm, welcher das Farbenbild auffängt, läßt durch dieselbe nur eine Art farbiger Strahlen, z. B. die rothen, hindurch und bringt dahinter ein zweites Prisma an; sie werden durch dasselbe zwar gebrochen, aber nicht weiter in neue Farben zerlegt.

Wie eine genaue Beobachtung lehrt, fehlen in dem farbigen Sonnenbilde oder Spectrum bestimmte farbige Strahlen, und an ihrer Stelle erscheinen dunkle Querlinien, welche nach ihrem Entdecker, dem Münchner Optiker Fraunhofer (1815), die Fraunhofer'schen Linien genannt werden. Die Heidelberger Professoren Kirchhoff und Bunsen haben seit 1860 die Spectra glühender Körper untersucht und sich dabei des Spectralapparates oder Spectroskops bedient. Der Spectralapparat (Fig. 416) hat folgende Einrichtung. Von einem Gestell wird eine wagerechte Röhre ei getragen; sie ist an dem einen Ende e mit einer lothrechten, das Licht einlassenden Spalte versehen und an dem andern Ende i durch eine er=

habene Linse geschlossen. Durch die Linse gelangen die Lichtstrahlen zu
einem Prisma aus Flintglas und dann zu der Objectivlinse eines Fern-
rohrs mn, durch welches man das Spectrum beobachtet. Das Prism
und die demselben nahen Enden der Röhre und des Fernrohrs könn
mit einem inwendig geschwärzten Kasten überdeckt werden, um alles frem
Licht abzuhalten. Richtet man erstlich die Licht einlassende Röhre
des Spectralapparates gegen die Sonne oder den hellen Himmel, so nimm
man mittels des Fernrohres mn in dem Spectrum des Sonnenlich

Fig. 416.



die Fraunhofer'schen Linien wahr; es sind gegen 3000 dunk
Querlinien, welche stets an denselben Stellen des Spectrums erschein
und verschiedene Stärke haben. Die acht stärksten dieser Linien werd
mit den großen lateinischen Buchstaben A bis H, vom Roth nach de
Violett hin, bezeichnet. Bringt man zweitens vor die Licht einlassen
Röhre ei des Spectralapparates ein glühendes Stück Platin oder Ka
(§. 288, 2), so nimmt man in dem Spectrum dieser Körper keine
Linien wahr. Das Spectrum glühender fester und tropfba
flüssiger Körper ist ein continuirliches Spectrum, das heißt, e
Spectrum ohne alle Linien. Untersucht man drittens eine Spiritu
oder Gasflamme, in welche man Chlornatrium (Kochsalz) gebracht h
so zeigt das Spectrum des Natriumdampfes auf dunklerem Grun
eine helle, gelbe Linie an der Stelle der mit D bezeichneten Fraunhofer'sche
Linie. Ist Kalisalpeter in die Flamme gebracht, so bemerkt man in de
Spectrum des Kaliumdampfes eine helle, rothe und eine violette Lin
die rothe an dem Ort der Fraunhofer'schen Linie A, die violette an de
Stelle einer Fraunhofer'schen Linie bei H. Kupferverbindungen gebe
helle, grüne Linien. Die Spectra erhitzter Gase bestehen aus eine

Anzahl heller, farbiger Linien. Dieselben haben für jeden einfachen Körper ihre ganz bestimmten Farben und bestimmten Stellen im Spectrum und erscheinen stets da, wo im Sonnenspectrum Fraunhofer'sche Linien auftreten. Sie bilden ein Erkennungsmittel für die verschiedenen Körper und heißen charakteristische Linien oder Leitlinien. Die Untersuchung eines Körpers durch Beobachtung seines Spectrums wird die Spectralanalyse genannt. Merkwürdig ist nun viertens, daß die Verbindung der zweiten und der dritten Art von Spectralerscheinungen die erste hervorbringt. Läßt man das Licht eines glühenden Platindrahtes durch Natriumdämpfe gehen, so wird die helle, gelbe Natriumlinie in die dunkle, Fraunhofer'sche Linie D verwandelt. Erhitzte Dämpfe und Gase lassen diejenigen Strahlen nicht hindurch, die sie selbst besitzen, sondern absorbiren dieselben; dadurch entstehen die dunklen Linien im Spectrum. Diese Erscheinung heißt die Umkehrung der Gasspectra, und die dadurch entstehenden Spectra heißen Absorptionsspectra.

Ist der Kern der Sonne ein glühender, fester oder tropfbarflüssiger Körper, umgeben von einer glühenden Dampfatmosphäre, so werden die hellen Linien der Dämpfe umgekehrt, und es erscheinen an ihrer Stelle die dunklen, Fraunhofer'schen Linien. Die Atmosphäre der Sonne enthält diejenigen Stoffe, für welche sich das Zusammenfallen ihrer Leitlinien mit Fraunhofer'schen Linien nachweisen läßt, z. B. Wasserstoff, Magnesium, Natrium und Eisendämpfe. Wird bei einer totalen Sonnenfinsterniß der Kern der Sonne durch den Mond verdeckt, und bleiben nur die vielgestaltigen, carminrothen Hervorragungen der Sonnenatmosphäre am Rande der Sonne, die Protuberanzen, sichtbar, so müssen die dunklen Linien des Sonnenspectrums sich in helle, farbige verwandeln. Die Richtigkeit dieser Ansicht sollte bei der großen Sonnenfinsterniß am 18. August 1868 geprüft werden, und es wurden sechs wissenschaftliche Expeditionen aus Europa nach Asien gesandt, um die Protuberanzen zu beobachten. Und wirklich zeigte das Prismenbild der Protuberanzen einige sehr helle Linien, welche mit Fraunhofer'schen zusammenfielen, und aus denen die Beobachter mit Sicherheit geschlossen haben, daß die Protuberanzen vorzugsweise aus Wasserstoffmassen bestehen. Auch das Licht anderer Weltkörper ist durch den Spectralapparat untersucht worden. Auf den Fixsternen verdampfen Eisen, Magnesium, Natrium, und auf den meisten findet sich auch Wasserstoff; die Fixsterne sind, wie die Sonne, glühende Körper, die von einer Gas- und Dampfhülle umgeben sind. Die Spectra des Mondes und der meisten Planeten, die ihr Licht von der Sonne erhalten, zeigen dieselben dunklen Linien, wie das Sonnenspectrum; Uranus und Neptun aber haben ganz andere Spectra, so daß man vermuthet, daß beide noch selbstleuchtend sind.

§. 336. Vereinigung des farbigen Lichtes zu weißem Lichte.

Versuch. Wenn das weiße Licht nichts Anderes ist, als eine Vereinigung von farbigen Strahlen, so müssen diese, wenn man sie wieder

vereinigt, weißes Licht geben. Nun hat eine erhabene Linse, ein Br
glas, die Eigenschaft, die darauf fallenden Strahlen in einen klein
Raum zu vereinigen. Man lasse daher die farbigen Strahlen, nach
sie aus dem Prisma getreten sind, durch ein Brennglas gehen; da
werde lothrecht
halten, und hinter
ein Schirm aus we
Papier so gegen
andern Körper
lehnt, daß sein o
Theil dem Glase
näher ist, als der u
Die günstige E
nung des Papiers
dem Brennglase

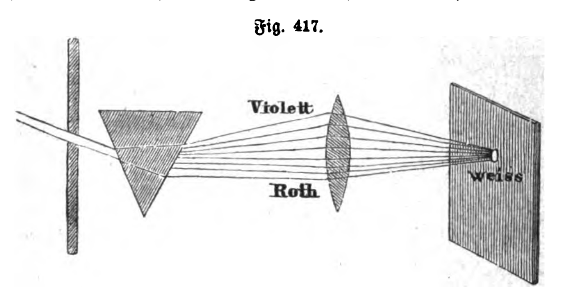


Fig. 417.

durch Probiren zu finden und muß so groß sein, daß des Glases B
punkt auf das Papier fällt. Wirklich erscheint wieder ein rundes, w
Sonnenbild, und es ist dadurch bewiesen, daß alle prismati
Farben zusammen Weiß geben.

§. 337. Die farbigen Ränder an den durch Prismen betrach Gegenständen.

Versuch. Man stelle einen ziemlich großen Streifen weißen P
lothrecht auf, halte das Prisma dicht vor die Augen und betrachte
Papier durch dasselbe. Es erscheint von farbigen Rändern beg
Und zwar ist der obere Rand roth und orangefarben, der untere
violett und blau, die Mitte weiß.

Es sei P der oberste Punkt des betrachteten Papierstreifens und
die Lichtstrahlen Pa und Pb dem Prisma zu. Der obere dieser Stra
wird in farbige Strahlen
legt, von denen nur der unte
rothe RO in das Auge O
langt, während alle übr
Farbenstrahlen, z. B. der vio
Re, zu hoch liegen und
dem Auge vorbeigehen.
zweite Lichtstrahl, der

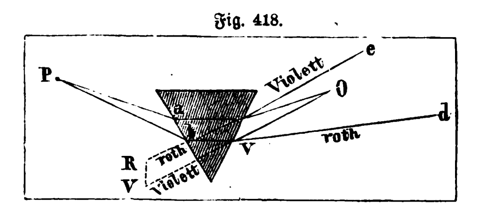


Fig. 418.

dem weißen Punkte P ausgeht und seine Richtung nach einer ti
gelegenen Stelle b des Prismas nimmt, wird durch dasselbe gleich
in farbige Strahlen zerlegt; aber weil das Auge eine zu hohe Stell
hat, gelangt nur der oberste derselben, der violette Strahl vO ins A
Daher sieht das Auge den betrachteten Punkt in der Richtung des ro
Strahls ObR und in der des violetten OvV; statt des Punktes ersch
ein Streifen RV, bedeckt mit den prismatischen Farben, oben roth

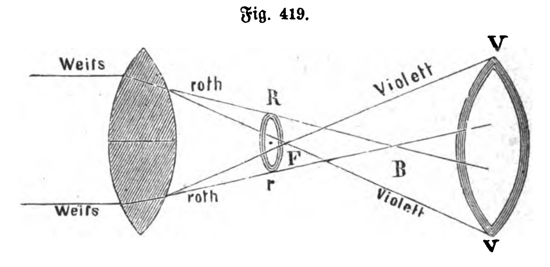
unten violett. Tiefer, als der Punkt P, liegt ein zweiter Punkt, der dieselbe Erscheinung gewährt; er erscheint auch als farbiger Streifen, doch niedriger, so daß sein Roth mit dem Orange des ersten Streifens zusammenfällt. Ganz oben an dem betrachteten Papierstreifen wird darum ein rother und orangefarbener Rand gesehen; in der Mitte fallen die sieben verschiedenartigen Strahlen von verschiedenen Punkten auf einander und geben Weiß, und am unteren Ende bleiben Blau und Violett übrig und bilden einen farbigen Saum.

§. 338. Farbige und farbenfreie Ränder bei der Brechung durch Linsen.

Die beiden Seitenflächen der erhabenen Linsen sind nach dem Rande zu gegen einander geneigt, wie die Flächen eines Prismas. Daher tritt auch bei ihnen eine Zerlegung des weißen Lichtes in farbiges ein, wenn auch weniger auffallend, und es zeigen sich farbige Ränder.

Versuch a. Man lasse die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auf ein Brennglas fallen; es wird ein rundes, weißes Sonnenbild in der Nähe des Brennpunktes entworfen. Fängt man dasselbe außerhalb der Brennweite, in Vv, mit einem weißen Papier auf, so zeigt sich der helle Kreis mit einem violetten Rande umsäumt. Bringt man das Papier der Linse näher, nach Rr, und fängt damit die Strahlen vor ihrer Vereinigung auf, so sieht man einen weißen Kreis, umzogen von einem rothen Rande. — Der untere Theil der Linse ist einem Prisma ähnlich, dessen eine Kante unten liegt, und zerlegt den weißen Lichtstrahl in farbige, von denen oben der violette liegt und nach V gelangt, während der rothe nach r und B gelangt. Die obere Hälfte der Linse, einem Prisma mit nach oben gekehrter Kante zu vergleichen, gewährt die umgekehrte Erscheinung und zerspaltet den weißen Lichtstrahl so, daß oben der rothe Strahl liegt und nach R geht, während der untere, violette nach v gebrochen wird. Vor der Vereinigung der Strahlen ist der rothe der äußerste und giebt einen rothen Saum; jenseit des Brennpunktes sind die äußersten violette Strahlen und bilden einen violetten Rand. Zwischen diese äußersten Strahlen fallen die verschiedenfarbigen Strahlen, die aus den mittleren weißen entstanden sind, und geben zusammen Weiß. — Zugleich vereinigen sich die violetten Strahlen früher, weil sie durch die Linse stärker von ihrem Wege abgelenkt werden, wogegen die rothen sich erst später durchkreuzen; der Brennpunkt der violetten

Fig. 419.



Strahlen liegt in dem Punkte F, der der rothen Strahlen entfernter v
der Linse in B.

Die farbigen Ränder, welche die Umrisse aller Bilder umhüll
machen dieselben undeutlich und rauben ihnen, was besonders bei Fe
röhren von Wichtigkeit ist, die Schärfe und Reinheit. Es kam da
darauf an, die farbigen Ränder hinwegzuschaffen. Da nun die violet
Strahlen sich zu früh vereinigen, so muß ihre Vereinigung aufgehal
und sie von einander noch fern gehalten werden, bis sie mit den ro
und andern farbigen zusammenfallen und wieder Weiß geben. D
Dienste würde nach §. 315 ein **Hohlglas** leisten, das man hinter d
erhabenen Glase anbrächte; aber da es ebenso sehr vertieft sein mü
als jenes erhaben ist, so würde die Wirkung des erhabenen Glases g
aufgehoben, und es würden gar keine Bilder entstehen. Die Brech
soll bleiben; aber die **Zerlegung in Farben** soll aufhören. Das Ho
glas muß also **weniger vertieft** sein; dann wirkt es, mit der erhaben
Linse zusammen, wie ein weniger erhabenes Glas. Ungeachtet seiner
ringeren Höhlung soll es aber die farbigen Strahlen **ebenso** stark z
streuen und die violetten gerade ebenso viel von einander entfernen,
sie durch das erhabene Glas einander zu früh genähert sind. Wir m
daher für die Hohllinse einen Stoff, der bei geringerer Vertiefung
ebenso langes, bei gleicher Vertiefung oder Neigung ein **längeres** Fa
bild giebt, als das gewöhnliche Spiegelglas.

Versuch b. 3 Gr. **Bleizucker** (essigsaures Bleioxyd) werd
etwas mehr Wasser aufgelöst, als das hohle Prisma fassen kann;
die Lösung trübe, so setze man ihr wenige Tropfen Essig zu, bis sie d
sichtig wird. Nun fülle man das Prisma zuerst mit Wasser, fange
entstehende Farbenbild, wie in §. 335, mit einem weißen Schirm au
merke sich sowohl die Stelle der mittleren, gelben Strahlen, als auc
Gesammtlänge des Farbenbildes. Darauf gieße man das Wasser
und bringe statt dessen in das Prisma die Bleioxydlösung. Bei der
Stellung des Prismas und des Schirms erscheinen die **gelben** Stra
an derselben Stelle, wie zuvor; das **Farbenbild** aber ist weit län
Durch **bleihaltige Substanzen** werden demnach die mittleren Stra
nicht stärker gebrochen, als durch dieselben bleifreien Stoffe, während
violetten eine weit stärkere Ablenkung erfahren.

Der Engländer **Dollond** erfand 1757 ein bleihaltiges Glas, **Fli**
glas, das sich ähnlich zu dem gewöhnlichen Glase, dem **Kronglase** verh

Fig. 420.

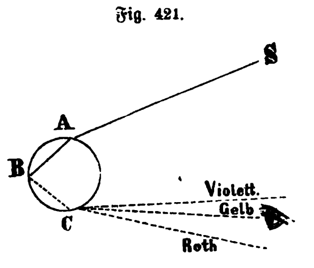
Hinter eine erhabene Linse aus Kronglas gestellt, hebt eine wen
vertiefte Hohllinse aus Flintglas, weil sie die violetten Stra
fast um das Doppelte ablenkt, die farbigen Ränder auf,
nun die verschiedenfarbigen Strahlen denselben Weg nehm
Aber die brechende Kraft der erhabenen Linse wird keineswe
aufgehoben, weil das Hohlglas eine geringere Vertiefung h
Ein so aus einer erhabenen Kronglaslinse und einer verti
Flintglaslinse zusammengesetztes Glas heißt eine **achromatische**, d. h. farb
freie Linse. Dergleichen Gläser haben jetzt alle guten optischen Instrumen

§. 339. Der Rege[illegible]

Ueberall, wo zahlreich niederfallende Wassertropfen von dem hellen Sonnenlichte beschienen werden, bietet sich Gelegenheit, einen Regenbogen zu beobachten. Er zeigt sich sowohl in dem zertheilt niederfallenden Wasserstrahle eines großen Springbrunnens oder einer bei Sonnenschein probirten Feuerspritze, als auch in dem Staubregen der durch einen Wasserfall, durch die Schaufelräder eines Dampfschiffes oder den Wellenschlag des Meeres emporgespritzten Tropfen. Im Großen aber bildet sich der Regenbogen mit seinen sieben prismatischen Farben, unter denen Roth die äußerste Stelle einnimmt, und Violett am weitesten nach innen gelegen ist, dann, wenn die Sonnenstrahlen eine regnende Wolke treffen, die der Sonne gegenüber steht. Wo keine Tropfen vorhanden sind, kann auch kein Regenbogen entstehen; ist die Regenwand nicht umfangreich genug, oder fallen nur aus einem Theil der Wolke Regentropfen, so bildet sich ein farbiges Bogenstück; ein solcher farbiger, in dem Regen sich darstellender Fleck heißt eine Regengalle, ähnlich wie ein harziger Fleck im Tannenholz eine Harzgalle genannt wird. Sicherlich entsteht zufolge dieser Thatsachen der Regenbogen durch eine Veränderung, welche das weiße Sonnenlicht in den Wassertropfen erfährt. In ihnen wird das Sonnenlicht gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt.

Allein nach der erfolgten Brechung würden die farbigen Lichtstrahlen noch keineswegs in das beobachtende Auge gelangen, das einen bestimmten Standpunkt einnehmen muß. Man sieht nämlich einen Regenbogen nur dann, wenn man vor sich eine regnende Wolke und im Rücken die Sonne hat. Nur durch eine Zurückwerfung von der dunkleren Hinterwand der Regentropfen wird es möglich, daß die farbigen Strahlen ins Auge gelangen. Wie sich auch mit einer Glaskugel voll Wasser, auf welche man in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl leitet, darthun läßt, werden die Sonnenstrahlen beim Eintritt in die Regentropfen gebrochen, von ihrer dunklen Hinterwand zurückgeworfen und beim Austritt aus den Tropfen nochmals gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt. Auf den dargestellten Tropfen fällt der Sonnenstrahl SA, erleidet beim Eintritt in denselben in dem Punkte A seine erste Brechung und trifft in B auf die dunkle Hinterwand des Tropfens; von ihr zurückgeworfen, wendet sich der Lichtstrahl nach C und wird hier bei seinem Austritte in die Luft in sieben farbige Strahlen zerspalten, unter denen der unterste, rothe Strahl am wenigsten abgelenkt ist und von der Richtung des auffallenden Sonnenstrahls SA um 42 Grad, fast die Hälfte eines rechten Winkels, abweicht.

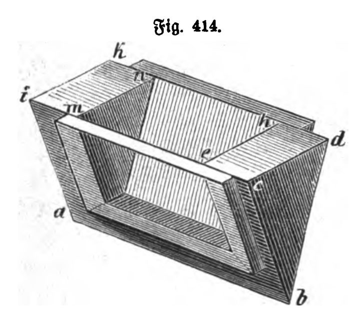
Fig. 421.



Welcher unter den farbigen Strahlen ins Auge gelangt, hängt

verbunden sind. Die Dicke ec und im der Brettchen betrage 1,5 Cm.; dieselbe Dicke erhalte das Verbindungsstäbchen bei ab. Auf diese Weise hat man einen dreiseitigen Rahmen hergestellt, der auf zwei Seiten durch Glasscheiben verschlossen werden soll, oben aber, bei mnhe, offen bleibt. Von einem Glaser läßt man sich zwei gleich große Streifen aus weißem Fensterglas schneiden, welche die Gestalt eines Rechtecks, eine Länge von 7 Cm. und eine Breite von 4,5 Cm. haben. Diese Streifen werden mit Siegellack so auf den hölzernen Rahmen gekittet, daß sie, während ab sich unten befindet, die Vorder- und die Hinterwand des Wasserprismas bilden. Man überzieht zuerst das Holz da, wo die Glasstreifen aufgekittet werden sollen, mit Siegellack. Dann faßt man jeden der Glasstreifen an einer seiner längeren Kanten me und nh, die oben angebracht werden soll, mit einer Drahtzange, erwärmt das Glas, indem man es über der Flamme einer Spirituslampe hin und her bewegt, langsam so stark, daß es beim Berühren des Siegellacks diesen zum Schmelzen bringt, und drückt die drei Ränder des Glasstreifens auf den Siegellack, mit dem man den Holzrahmen überzogen hat. Beide Glasplatten sollen nach dem Erkalten wasserdicht schließen. Beim Gebrauch füllt man das hohle Prisma mit Wasser. Man hält das Wasserprisma so mit der Hand, daß die Kante ab sich unten befindet. Will man das Prisma durch ein Gestell tragen lassen, so muß man vor dem Aufkitten des Glases in eins der dreieckigen Brettchen bcd oder aik ein dünnes Stäbchen oder einen Draht einfügen, welcher dieselbe Richtung erhält, welche die Kante ab hat. Das freie Ende dieses Drahtes schiebt man wagerecht durch den Kork auf einer Flasche oder klemmt ihn in einen Retortenhalter (§. 232).

Fig. 414.

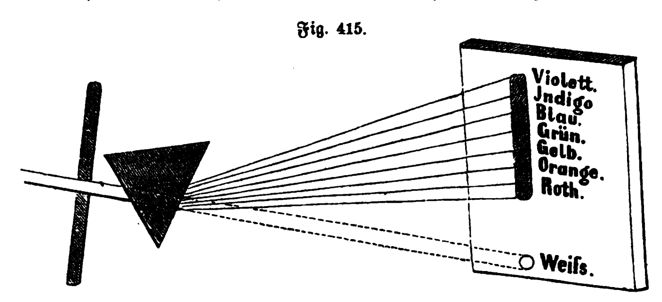


Versuch. In einem Zimmer, in welches die Sonnenstrahlen fallen, halte man nicht weit von dem Fenster einen Bogen von Pappe oder starkem Papier, durch dessen Mitte eine kleine Oeffnung gebohrt ist, in lothrechter Stellung. Das weiße, farblose Sonnenlicht dringt durch die Oeffnung des Schirms hindurch, und unten auf der gegenüberliegenden Wand oder besser auf einem dort aufgestellten Bogen Papier entsteht ein weißes, rundes Sonnenbild.

Nun lasse man aber die Sonnenstrahlen durch das Prisma gehen, dessen eine Kante unten liegt, und das nahe der Oeffnung des Schirmes gehalten wird. Wegen der Brechung erscheint das Sonnenbild nicht mehr an seiner früheren Stelle; die Strahlen werden beim Eintritt und beim Austritt aus dem Prisma nach oben gebrochen, und das Bild rückt in die Höhe. Aber auch die Gestalt des Bildes ist eine andere geworden; die Lichtstrahlen haben sich in Folge der starken Brechung fächerförmig ausgebreitet, und statt eines Kreises nimmt man einen länglichen Streifen wahr, der oben und unten durch Bogen begrenzt wird. Er ist nicht mehr

weiß, sondern zeigt, von unten nach oben gezählt, die sieben Regenbogenfarben oder prismatischen Farben: Roth, Orange, Gelb, Grün,

Fig. 415.



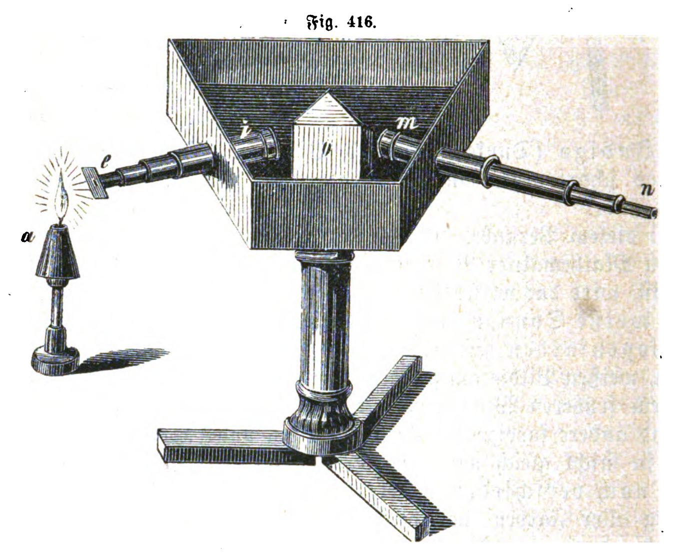
Blau, Indigo (Dunkelblau) und Violett. Doch sind diese Farben keineswegs scharf gegen einander abgegrenzt, sondern gehen allmählich in einander über.

Bei diesem Versuche, der mit der größten Genauigkeit 1666 von dem englischen Mathematiker Newton in einem verfinsterten Zimmer angestellt worden ist, wird das weiße Licht durch Brechung in Farben zerlegt. Folglich ist das weiße Sonnenlicht nicht einfach, sondern aus den sieben Regenbogenfarben zusammengesetzt. Das Roth liegt der Stelle des früheren, weißen Bildes am nächsten, die rothen Strahlen sind am wenigsten von ihrem früheren Wege abgelenkt und am schwächsten gebrochen. Wenn rothe und andere farbige Strahlen durch ein und dasselbe Prisma gehen, so werden sie nicht gleich weit von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, sondern nach verschiedenen Stellen hin gebrochen. Geht daher eine Mischung aller Farben, das heißt, weißes Licht, durch ein Prisma, so werden die darin enthaltenen violetten und blauen Strahlen weit stärker und an ganz andere Orte hin gebrochen, als die gelben und rothen. Was zuvor beisammen und gemischt war, ist jetzt getrennt und vereinzelt. Jede der prismatischen Farben ist einfach und läßt sich nicht weiter zerlegen. Um dies darzuthun, bohrt man eine Oeffnung in den Schirm, welcher das Farbenbild auffängt, läßt durch dieselbe nur eine Art farbiger Strahlen, z. B. die rothen, hindurch und bringt dahinter ein zweites Prisma an; sie werden durch dasselbe zwar gebrochen, aber nicht weiter in neue Farben zerlegt.

Wie eine genaue Beobachtung lehrt, fehlen in dem farbigen Sonnenbilde oder Spectrum bestimmte farbige Strahlen, und an ihrer Stelle erscheinen dunkle Querlinien, welche nach ihrem Entdecker, dem Münchner Optiker Fraunhofer (1815), die Fraunhofer'schen Linien genannt werden. Die Heidelberger Professoren Kirchhoff und Bunsen haben seit 1860 die Spectra glühender Körper untersucht und sich dabei des Spectralapparates oder Spectroskops bedient. Der Spectralapparat (Fig. 416) hat folgende Einrichtung. Von einem Gestell wird eine wagerechte Röhre ei getragen; sie ist an dem einen Ende e mit einer lothrechten, das Licht einlassenden Spalte versehen und an dem andern Ende i durch eine er=

habene Linse geschlossen. Durch die Linse gelangen die Lichtstrahlen zu einem **Prisma** aus Flintglas und dann zu der Objectivlinse eines Fernrohrs mn, durch welches man das Spectrum beobachtet. Das Prisma und die demselben nahen Enden der Röhre und des Fernrohrs können mit einem inwendig geschwärzten Kasten überdeckt werden, um alles fremde Licht abzuhalten. Richtet man **erstlich** die Licht einlassende Röhre ei des Spectralapparates gegen die Sonne oder den hellen Himmel, so nimmt man mittels des Fernrohres mn in dem **Spectrum des Sonnenlichts**

Fig. 416.



die **Fraunhofer'schen Linien** wahr; es sind gegen 3000 dunkle Querlinien, welche stets an denselben Stellen des Spectrums erscheinen und verschiedene Stärke haben. Die acht stärksten dieser Linien werden mit den großen lateinischen Buchstaben A bis H, vom Roth nach dem Violett hin, bezeichnet. Bringt man **zweitens** vor die Licht einlassende Röhre ei des Spectralapparates ein glühendes Stück **Platin oder Kalk** (§. 288, 2), so nimmt man in dem Spectrum dieser Körper **keinerlei Linien** wahr. Das **Spectrum glühender fester und tropfbarflüssiger Körper ist ein continuirliches Spectrum**, das heißt, ein **Spectrum ohne alle Linien**. Untersucht man **drittens** eine Spiritus- oder Gasflamme, in welche man Chlornatrium (Kochsalz) gebracht hat, so zeigt das **Spectrum des Natriumdampfes** auf dunklerem Grunde eine **helle**, gelbe Linie an der Stelle der mit D bezeichneten Fraunhofer'schen Linie. Ist Kalisalpeter in die Flamme gebracht, so bemerkt man in dem Spectrum des **Kaliumdampfes** eine helle, rothe und eine violette Linie, die rothe an dem Ort der Fraunhofer'schen Linie A, die violette an der Stelle einer Fraunhofer'schen Linie bei H. **Kupferverbindungen** geben helle, grüne Linien. Die **Spectra erhitzter Gase bestehen aus** einer

Anzahl heller, farbiger Linien. Dieselben haben für jeden einfachen
örper ihre ganz bestimmten Farben und bestimmten Stellen im Spectrum
nd erscheinen stets da, wo im Sonnenspectrum Fraunhofer'sche Linien
uftreten. Sie bilden ein Erkennungsmittel für die verschiedenen Körper
nd heißen charakteristische Linien oder Leitlinien. Die Unter=
uchung eines Körpers durch Beobachtung seines Spectrums wird die
Spectralanalyse genannt. Merkwürdig ist nun viertens, daß die
Verbindung der zweiten und der dritten Art von Spectralerscheinungen
ie erste hervorbringt. Läßt man das Licht eines glühenden Platindrahtes
urch Natriumdämpfe gehen, so wird die helle, gelbe Natriumlinie in die
unkle, Fraunhofer'sche Linie D verwandelt. Erhitzte Dämpfe
nd Gase lassen diejenigen Strahlen nicht hindurch, die sie
elbst besitzen, sondern absorbiren dieselben; dadurch entstehen die
unklen Linien im Spectrum. Diese Erscheinung heißt die Umkehrung
er Gasspectra, und die dadurch entstehenden Spectra heißen Absorp=
ionsspectra.

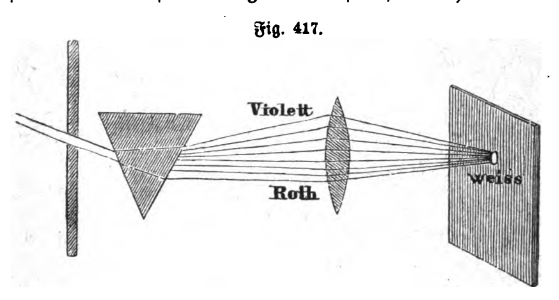
Ist der Kern der Sonne ein glühender, fester oder tropfbarflüssiger
örper, umgeben von einer glühenden Dampfatmosphäre, so werden die
ellen Linien der Dämpfe umgekehrt, und es erscheinen an ihrer Stelle
ie dunklen, Fraunhofer'schen Linien. Die Atmosphäre der Sonne enthält
iejenigen Stoffe, für welche sich das Zusammenfallen ihrer Leitlinien mit
raunhofer'schen Linien nachweisen läßt, z. B. Wasserstoff, Magnesium,
atrium und Eisendämpfe. Wird bei einer totalen Sonnenfinsterniß
r Kern der Sonne durch den Mond verdeckt, und bleiben nur die viel=
staltigen, carminrothen Hervorragungen der Sonnenatmosphäre am Rande
r Sonne, die Protuberanzen, sichtbar, so müssen die dunklen Linien
s Sonnenspectrums sich in helle, farbige verwandeln. Die Richtigkeit
eser Ansicht sollte bei der großen Sonnenfinsterniß am 18. August 1868
prüft werden, und es wurden sechs wissenschaftliche Expeditionen aus
uropa nach Asien gesandt, um die Protuberanzen zu beobachten. Und
rklich zeigte das Prismenbild der Protuberanzen einige sehr helle Linien,
elche mit Fraunhofer'schen zusammenfielen, und aus denen die Beobachter
t Sicherheit geschlossen haben, daß die Protuberanzen vorzugsweise aus
asserstoffmassen bestehen. Auch das Licht anderer Weltkörper ist durch
n Spectralapparat untersucht worden. Auf den Fixsternen verdampfen
sen, Magnesium, Natrium, und auf den meisten findet sich auch Wasserstoff;
Fixsterne sind, wie die Sonne, glühende Körper, die von einer Gas=
d Dampfhülle umgeben sind. Die Spectra des Mondes und der meisten
laneten, die ihr Licht von der Sonne erhalten, zeigen dieselben dunklen
nien, wie das Sonnenspectrum; Uranus und Neptun aber haben ganz
dere Spectra, so daß man vermuthet, daß beide noch selbstleuchtend sind.

§. 336. Vereinigung des farbigen Lichtes zu weißem Lichte.

Versuch. Wenn das weiße Licht nichts Anderes ist, als eine Ver=
igung von farbigen Strahlen, so müssen diese, wenn man sie wieder

vereinigt, weißes Licht geben. Nun hat eine erhabene Linse, ein Brenn-glas, die Eigenschaft, die darauf fallenden Strahlen in einen kleineren Raum zu vereinigen. Man lasse daher die farbigen Strahlen, nachdem sie aus dem Prisma getreten sind, durch ein Brennglas gehen; dasselbe werde lothrecht ge-halten, und hinter ihm ein Schirm aus weißem Papier so gegen einen andern Körper ange-lehnt, daß sein oberer Theil dem Glase etwas näher ist, als der untere. Die günstige Entfer-nung des Papiers von dem Brennglase ist

Fig. 417.



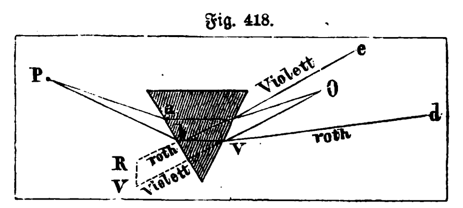
durch Probiren zu finden und muß so groß sein, daß des Glases Brenn-punkt auf das Papier fällt. Wirklich erscheint wieder ein rundes, weißes Sonnenbild, und es ist dadurch bewiesen, daß alle **prismatischen Farben zusammen Weiß geben.**

§. 337. Die farbigen Ränder an den durch Prismen betrachteten Gegenständen.

Versuch. Man stelle einen ziemlich großen Streifen **weißen** Papiers lothrecht auf, halte das Prisma dicht vor die Augen und betrachte das Papier durch dasselbe. Es erscheint von **farbigen Rändern** begrenzt. Und zwar ist der **obere Rand roth** und orangefarben, der untere Rand violett und blau, die Mitte weiß.

Es sei P der oberste Punkt des betrachteten Papierstreifens und senden die Lichtstrahlen Pa und Pb dem Prisma zu. Der obere dieser Strahlen wird in farbige Strahlen zer-legt, von denen nur der unterste rothe RO in das Auge O ge-langt, während alle übrigen Farbenstrahlen, z. B. der violette Re, zu hoch liegen und an dem Auge vorbeigehen. Der **zweite Lichtstrahl**, der von

Fig. 418.



dem weißen Punkte P ausgeht und seine Richtung nach einer tiefer gelegenen Stelle b des Prismas nimmt, wird durch dasselbe gleichfalls in farbige Strahlen zerlegt; aber weil das Auge eine zu hohe Stellung hat, gelangt nur der oberste derselben, der **violette** Strahl vO ins Auge. Daher sieht das Auge den betrachteten Punkt in der Richtung des rothen Strahls ObR und in der des violetten OvV; statt des Punktes erscheint ein Streifen RV, bedeckt mit den prismatischen Farben, **oben roth** und

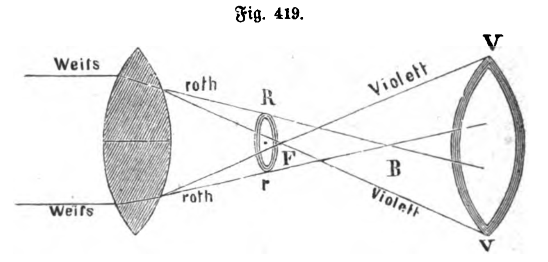
unten violett. Tiefer, als der Punkt P, liegt ein zweiter Punkt, der dieselbe Erscheinung gewährt; er erscheint auch als farbiger Streifen, doch niedriger, so daß sein Roth mit dem Orange des ersten Streifens zusammenfällt. Ganz oben an dem betrachteten Papierstreifen wird darum ein rother und orangefarbener Rand gesehen; in der Mitte fallen die sieben verschiedenartigen Strahlen von verschiedenen Punkten auf einander und geben Weiß, und am unteren Ende bleiben Blau und Violett übrig und bilden einen farbigen Saum.

§. 338. Farbige und farbenfreie Ränder bei der Brechung durch Linsen.

Die beiden Seitenflächen der erhabenen Linsen sind nach dem Rande zu gegen einander geneigt, wie die Flächen eines Prismas. Daher tritt auch bei ihnen eine Zerlegung des weißen Lichtes in farbiges ein, wenn auch weniger auffallend, und es zeigen sich farbige Ränder.

Versuch a. Man lasse die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auf ein Brennglas fallen; es wird ein rundes, weißes Sonnenbild in der Nähe des Brennpunktes entworfen. Fängt man dasselbe außerhalb der Brennweite, in Vv, mit einem weißen Papier auf, so zeigt sich der helle Kreis mit einem violetten Rande umsäumt. Bringt man das Papier der Linse näher, nach Rr, und fängt damit die Strahlen vor ihrer Vereinigung auf, so sieht man einen weißen Kreis, umzogen von einem rothen Rande. — Der untere Theil der Linse ist einem Prisma ähnlich, dessen eine Kante unten liegt, und zerlegt den weißen Lichtstrahl in farbige, von denen oben der violette liegt und nach V gelangt, während der rothe nach r und B gelangt.

Fig. 419.



Die obere Hälfte der Linse, einem Prisma mit nach oben gekehrter Kante zu vergleichen, gewährt die umgekehrte Erscheinung und zerspaltet den weißen Lichtstrahl so, daß oben der rothe Strahl liegt und nach R geht, während der untere, violette nach v gebrochen wird. Vor der Vereinigung der Strahlen ist der rothe der äußerste und giebt einen rothen Saum; jenseit des Brennpunktes sind die äußersten violette Strahlen und bilden einen violetten Rand. Zwischen diese äußersten Strahlen fallen die verschiedenfarbigen Strahlen, die aus den mittleren weißen entstanden sind, und geben zusammen Weiß. — Zugleich vereinigen sich die violetten Strahlen früher, weil sie durch die Linse stärker von ihrem Wege abgelenkt werden, wogegen die rothen sich erst später durchkreuzen; der Brennpunkt der violetten

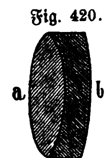
Strahlen liegt in dem Punkte F, der der rothen Strahlen entfernter v der Linse in B.

Die farbigen Ränder, welche die Umrisse aller Bilder umhüll machen dieselben undeutlich und rauben ihnen, was besonders bei Fe röhren von Wichtigkeit ist, die Schärfe und Reinheit. Es kam da darauf an, die farbigen Ränder hinwegzuschaffen. Da nun die violet Strahlen sich zu früh vereinigen, so muß ihre Vereinigung aufgehob und sie von einander noch fern gehalten werden, bis sie mit den rot und andern farbigen zusammenfallen und wieder Weiß geben. Di Dienste würde nach §. 315 ein **Hohlglas** leisten, das man hinter d erhabenen Glase anbrächte; aber da es ebenso sehr vertieft sein müß als jenes erhaben ist, so würde die Wirkung des erhabenen Glases ga aufgehoben, und es würden gar keine Bilder entstehen. Die Brechu soll bleiben; aber die **Zerlegung in Farben** soll aufhören. Das Ho glas muß also **weniger vertieft** sein; dann wirkt es, mit der erhaben Linse zusammen, wie ein weniger erhabenes Glas. Ungeachtet seiner g ringeren Höhlung soll es aber die farbigen Strahlen **ebenso stark** ze **streuen** und die violetten gerade ebenso viel von einander entfernen, al sie durch das erhabene Glas einander zu früh genähert sind. Wir such daher für die Hohllinse einen Stoff, der bei geringerer Vertiefung ebenso langes, bei gleicher Vertiefung oder Neigung ein **längeres** Farb bild giebt, als das gewöhnliche Spiegelglas.

Versuch b. 3 Gr. **Bleizucker** (essigsaures Bleioxyd) werde etwas mehr Wasser aufgelöst, als das hohle Prisma fassen kann; i die Lösung trübe, so setze man ihr wenige Tropfen Essig zu, bis sie dur sichtig wird. Nun fülle man das Prisma zuerst mit Wasser, fange d entstehende Farbenbild, wie in §. 335, mit einem weißen Schirm auf un merke sich sowohl die Stelle der mittleren, gelben Strahlen, als auch d Gesammtlänge des Farbenbildes. Darauf gieße man das Wasser a und bringe statt dessen in das Prisma die Bleioxydlösung. Bei derselbe Stellung des Prismas und des Schirms erscheinen die **gelben Strahle** an derselben Stelle, wie zuvor; das **Farbenbild** aber ist weit länger. Durch **bleihaltige Substanzen** werden demnach die mittleren Strah nicht stärker gebrochen, als durch dieselben bleifreien Stoffe, während d violetten eine weit stärkere Ablenkung erfahren.

Der Engländer **Dollond** erfand 1757 ein bleihaltiges Glas, **Flin glas**, das sich ähnlich zu dem gewöhnlichen Glase, dem **Kronglase** verh Hinter eine erhabene Linse aus Kronglas gestellt, hebt eine weni vertiefte Hohllinse aus Flintglas, weil sie die violetten Strahle fast um das Doppelte ablenkt, die farbigen Ränder auf, we nun die verschiedenfarbigen Strahlen denselben Weg nehme Aber die brechende Kraft der erhabenen Linse wird keineswe aufgehoben, weil das Hohlglas eine geringere Vertiefung ha Ein so aus einer erhabenen Kronglaslinse und einer vertieft Flintglaslinse zusammengesetztes Glas heißt eine **achromatische**, d. h. farben freie Linse. Dergleichen Gläser haben jetzt alle guten optischen Instrument

Fig. 420.

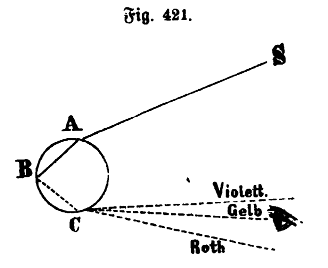


§. 339. Der Regenbogen.

Ueberall, wo zahlreich niederfallende Wassertropfen von dem hellen Sonnenlichte beschienen werden, bietet sich Gelegenheit, einen Regenbogen zu beobachten. Er zeigt sich sowohl in dem zertheilt niederfallenden Wasserstrahle eines großen Springbrunnens oder einer bei Sonnenschein probirten Feuerspritze, als auch in dem Staubregen der durch einen Wasserfall, durch die Schaufelräder eines Dampfschiffes oder den Wellenschlag des Meeres emporgespritzten Tropfen. Im Großen aber bildet sich der Regenbogen mit seinen sieben prismatischen Farben, unter denen Roth die äußerste Stelle einnimmt, und Violett am weitesten nach innen gelegen ist, dann, wenn die Sonnenstrahlen eine regnende Wolke treffen, die der Sonne gegenüber steht. Wo keine Tropfen vorhanden sind, kann auch kein Regenbogen entstehen; ist die Regenwand nicht umfangreich genug, oder fallen nur aus einem Theil der Wolke Regentropfen, so bildet sich ein farbiges Bogenstück; ein solcher farbiger, in dem Regen sich darstellender Fleck heißt eine Regengalle, ähnlich wie ein harziger Fleck im Tannenholz eine Harzgalle genannt wird. Sicherlich entsteht zufolge dieser Thatsachen der Regenbogen durch eine Veränderung, welche das weiße Sonnenlicht in den Wassertropfen erfährt. In ihnen wird das Sonnenlicht gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt.

Allein nach der erfolgten Brechung würden die farbigen Lichtstrahlen noch keineswegs in das beobachtende Auge gelangen, das einen bestimmten Standpunkt einnehmen muß. Man sieht nämlich einen Regenbogen nur dann, wenn man vor sich eine regnende Wolke und im Rücken die Sonne hat. Nur durch eine Zurückwerfung von der dunkleren Hinterwand der Regentropfen wird es möglich, daß die farbigen Strahlen ins Auge gelangen. Wie sich auch mit einer Glaskugel voll Wasser, auf welche man in einem verfinsterten Zimmer einen Sonnenstrahl leitet, darthun läßt, werden die Sonnenstrahlen beim Eintritt in die Regentropfen gebrochen, von ihrer dunklen Hinterwand zurückgeworfen und beim Austritt aus den Tropfen nochmals gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt. Auf den dargestellten Tropfen fällt der Sonnenstrahl SA, erleidet beim Eintritt in denselben in dem Punkte A seine erste Brechung und trifft in B auf die dunkle Hinterwand des Tropfens; von ihr zurückgeworfen, wendet sich der Lichtstrahl nach C und wird hier bei seinem Austritte in die Luft in sieben farbige Strahlen zerspalten, unter denen der unterste, rothe Strahl am wenigsten abgelenkt ist und von der Richtung des auffallenden Sonnenstrahls SA um 42 Grad, fast die Hälfte eines rechten Winkels, abweicht.

Fig. 421.

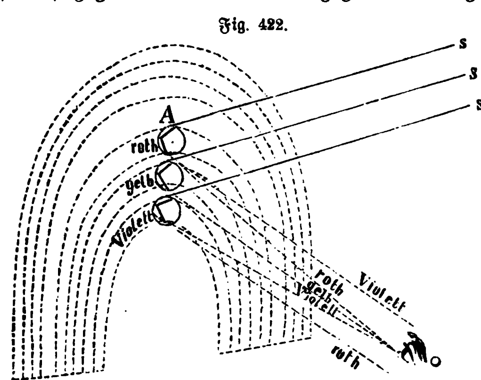


Welcher unter den farbigen Strahlen ins Auge gelangt, hängt von

essen Stellung ab; befindet es sich in der Richtung der rothen Strahlen, so nimmt es diese wahr, in der Richtung der gelben dagegen die gelben Strahlen. Leicht kann man an Thautropfen, welche an Pflanzen hängen, die Beobachtung machen, daß jeder Tropfen bei einer bestimmten Stellung des Auges ihm nur eine einzige Art farbiger Strahlen zusendet; von diesen weicht die Richtung der übrigen farbigen Strahlen dermaßen ab, daß sie unbemerkt vor dem Auge vorbeigehen. Unter den von der Sonne beschienenen Thautropfen erscheint dem Auge der eine roth, während ein an niedrigerer Stelle befindlicher Tropfen sich in violetter oder einer andern der sieben prismatischen Farben darstellt. Hat man aber vor sich eine umfangreiche regnende Wolke, so befinden sich genug Tropfen über einander, um zusammen alle Regenbogenfarben zu zeigen. Von den nächsten Tropfen kommen deren unterste rothe Strahlen ins Auge, während an ihm die übrigen, unter denen der violette gezeichnet ist, vorbeigehen. Umgekehrt erscheinen die Tropfen an der Innenseite des Bogens violett, und die übrigen von ihnen ausgehenden Strahlen, z. B. der gezeichnete rothe Strahl, treffen das Auge nicht.

Woher aber die kreisbogenförmige Gestalt des Regenbogens? Offenbar müssen diejenigen Regentropfen, welche sich in derselben Farbe darstellen sollen, gegen die Sonne und gegen das Auge des Beobachters gleiche Lage haben. Alle austretenden rothen Strahlen bilden mit den Sonnenstrahlen denselben Winkel; denn mit Aenderung des Winkels wird auch die Farbe geändert. Aber zugleich müssen die austretenden Strahlen sämmtlich die Richtung nach dem Auge zu haben; denn sonst werden sie nicht wahrgenommen. Eine solche Lage haben aber die in einem Kreise liegenden Tropfen.

Fig. 422.

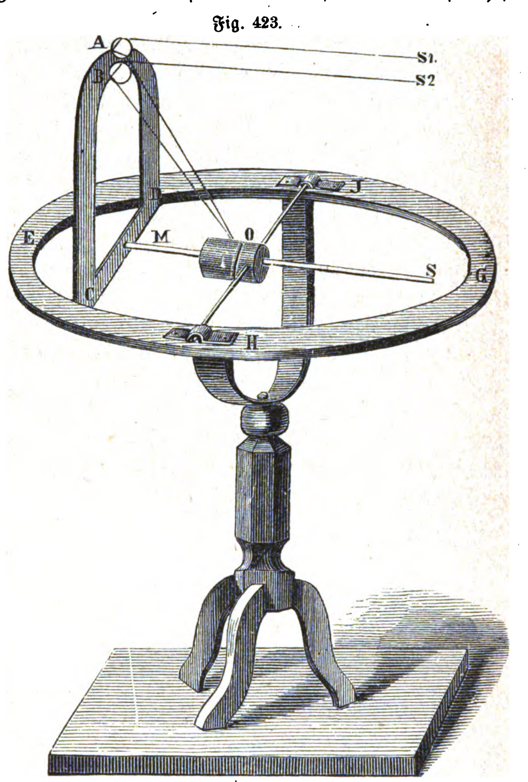


Die Beobachtung lehrt, daß eine von der Sonne durch das Auge des Beobachters gezogene gerade Linie den Mittelpunkt des Kreises trifft, von welchem der Regenbogen ein Theil ist. Daher nehme man zur

Veranschaulichung einen Stab oder Draht SM, welcher diese Linie von der Sonne durch das Auge nach dem Mittelpunkt M des Regenbogens darstellen soll. Ueber den Stab wird mit gelinder Reibung ein durchbohrter Kork O geschoben, welcher die Stelle des Auges einnimmt. Darein befestige man zwei gebogene Drähte OAS1 und OBS2. Der erste derselben hat den rothen Strahl zu versinnlichen und ist so in den Kork zu stecken, daß er mit dem Stabe SM ungefähr einen Winkel von 42 Grad macht, trägt bei A, wo er die doppelte Brechung und einmalige

Zurückwerfung erleidet, eine runde Scheibe als Bild eines Tropfens und ist zuletzt so umzubiegen, daß sein oberes, freies Ende mit dem Stabe MS gleichlaufend wird. S1A gilt dann als einfallender weißer Sonnenstrahl, ist mit S2B, dem zweiten, nach der Zeichnung zu biegenden Drahte, und mit SM gleichlaufend, weil wegen der großen Entfernung der Sonne alle nach einer Stelle der Erde gelangenden Strahlen als gleichlaufend anzusehen sind. AO giebt den rothen, und BO den violetten Strahl des Regenbogens an; sie haben ihre bestimmte Lage zur Sonne und zum Auge, die nicht zu verändern ist. Dreht man nun, indem das untere Ende des Stabes M auf dem Tische, und das obere Ende S in der Hand ruht, die ganze Vorrichtung um den Stab als Axe, so beschreiben die Tropfen A und B Kreisbogen und thun uns dar, daß in dem Bogen um den Mittelpunkt M solche Tropfen liegen, aus denen die unter denselben Winkeln austretenden Strahlen ins Auge O gelangen.

Fig. 423.



Die Größe des Regenbogens, wenn er vollständig ist, hängt von dem Stande der Sonne ab. Bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang bildet er einen vollständigen Halbkreis, bei Sonnenaufgang im Westen, und bei Sonnenuntergang im Osten. Man lege den Stab SM der eben gefertigten Vorrichtung wagerecht auf die Tischplatte EHGJ und lasse diese die Ebene des Horizonts für unsere Gegend vorstellen. Dreht man alsdann den Stab, so beschreiben die Tropfen A und B einen Halbkreis. Diesen Halbkreis kann man aus Pappe fertigen, farbig bemalen und an seinem Durchmesser CD an MS befestigen. Auch kann man den Horizont EHGJ in Pappe oder Holz nachbilden und dem Stabe MS eine Axe HJ geben, wodurch die Vorrichtung sehr anschaulich wird. — Je höher die Sonne steht, desto kleiner wird der farbige Bogen. Legt man, wie die Zeichnung es darstellt, weil das Auge sich fast in der Ebene des Horizontes befindet, den Kork O in diese Ebene und denkt sich die Sonne in der Rich-

tung des Stabes bei S stehen, so werden die von A und B beschriebenen Kreisbogen immer kleiner, je höher man S erhebt. Zugleich liegt der Mittelpunkt M des Kreises ebenso tief unter dem Horizont, als die Sonne über ihm steht. — Steht die Sonne zu hoch, über 42 Grad hoch, am Himmel, so wird dem Bewohner der Ebene durchaus kein Regenbogen sichtbar. Man hebe das obere Stabende S mehr als 42 Grad über den Tisch; dann kommen die Tropfen A und B unter den Horizont, zum Zeichen, daß es bei so hohem Stande der Sonne über dem Horizont für ebene Gegenden keine Tropfen giebt, die einen Regenbogen bilden könnten. — Von dem freien Gipfel eines Berges aus würde man jedoch noch bei so hohem Stande der Sonne einen Regenbogen sehen, was man sich veranschaulicht, indem man sich O, das Auge, hoch über dem Horizont denkt. Dabei kann man sich zugleich die Thatsache verdeutlichen, daß von Bergeshöhen mit freier Aussicht, wenn die Sonne tief steht, der Regenbogen größer, als ein Halbkreis erscheint.

In den meisten Fällen nimmt man über dem Hauptregenbogen noch einen Nebenregenbogen wahr, der ihn umschließt, weniger lebhaft gefärbt ist und außen violett und nach innen roth erscheint. Derselbe entsteht in höher gelegenen Regentropfen durch zweimalige Brechung und zweimalige Zurückwerfung der Sonnenstrahlen. Es sei SB der auffallende

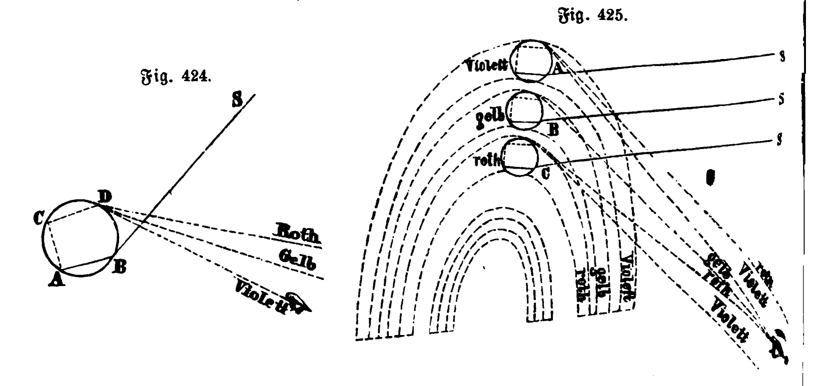


Fig. 424. Fig. 425.

weiße Sonnenstrahl, er werde im Tropfen nach A hin gebrochen, von hier nach C zurückgeworfen und zum zweiten Mal von C nach D zurückgeworfen; so wird er beim Austritt in die Luft wieder gebrochen und in farbige Strahlen zertheilt. Der am wenigsten abgelenkte Strahl hat rothe Farbe und nimmt hier die oberste Stelle ein, während beim Hauptregenbogen die obersten Strahlen, die aus jedem einzelnen Tropfen kommen, violett sind. Wenn nun in mehreren über einander liegenden Tropfen diese doppelte Brechung und doppelte Zurückwerfung statthat, so wird ein in dem Punkte o befindliches Auge von den obersten Tropfen A die untersten, violetten Strahlen erhalten und von den untersten Tropfen, wie C, die obersten, rothen Strahlen und von den dazwischen liegenden Tropfen die dazwischen liegenden Farben. Die weniger lebhafte Färbung des Nebenregenbogens

at ihren Grund darin, daß bei jeder Zurückwerfung, wie sie hier zwei=
ıal stattfindet, die Lichtstärke abnimmt.

. 340. Die durch Zurückwerfung des Lichtes entstehenden Farben.

Die nichtleuchtenden Körper werden uns nach §. 308 dadurch sicht=
ar, daß sie das auf sie fallende Licht zurückwerfen und dem Auge zu=
:nden. Einige Körper werfen das weiße Sonnenlicht zurück, ohne es
u zersetzen, und erscheinen darum dem Auge weiß. Andere Körper
verfen fast gar kein Licht zurück, sie sind dunkel und lichtlos und sehen
chwarz aus. In der Mitte zwischen diesen beiden Arten von Gegen=
änden steht eine dritte von solchen, die wenig weißes Sonnenlicht zu=
ückwerfen und grau erscheinen.

Die meisten undurchsichtigen Körper dagegen zersetzen das
uf sie fallende Sonnenlicht und werfen nur eine Art farbigen
ichtes zurück, wogegen sie alle übrigen Farbenstrahlen in sich aufnehmen
der absorbiren.

Versuch a. Man halte einen einfarbigen Gegenstand, etwa den
ırbigen Schnitt eines Buches oder ein lebhaft gefärbtes
Blatt Papier I so, daß das Sonnenlicht oder das helle
Tageslicht darauf fällt. Dagegen lehne man unter einem
pitzen Winkel ein weißes Blatt Papier; dies wird auf
en dem farbigen zugewandten und nahen Stellen dieselbe
'arbe zeigen, welche Farbe auch gewählt sein mag.
Daraus geht hervor, daß eine weiße Fläche alle Farben
ırückzuwerfen vermag; der einfarbige Gegenstand aber
irft von allen Farbenstrahlen, aus denen das Sonnenlicht zusammen=
:setzt ist, nur die eine zurück und dem weißen Papier zu.

Fig. 426.

Versuch b. Am Abend zünde man in einem dunklen Zimmer
ne Spirituslampe an, deren Docht man oben stark mit Kochsalz einge=
.eben hat. Sie wird reines gelbes Licht verbreiten. Weißes Papier
:scheint in dieser Beleuchtung gelb, weil es, wie alle übrigen Farbenstrahlen,
uch gelbe zurückwirft; gelbe Gegenstände stellen sich noch lebhafter gelb
efärbt dar, weil sie in vollem Maße gelbes Licht zurückwerfen. Rothe
Gegenstände sehen in der gelben Beleuchtung dunkel oder grau aus, weil
e fast gar keine gelben Strahlen zurückwerfen.

§. 341. Das Blau des Himmels und die Abendröthe.

Versuch a. Wenn man einen unten mit einem Kork verschlossenen
Glastrichter mit Wasser, in welches etwa Kaffee oder Rothwein gegossen
t, also mit einem unvollkommen durchsichtigen Körper, anfüllt,
:gen das Tageslicht hält und hindurchsieht, so zeigt die Flüssigkeit
ı dem weiteren Theile des Trichters sich stärker gefärbt, als unten in
:r engeren Röhre. Dasselbe ist der Fall, wenn man das Tageslicht auf
:n Trichter fallen läßt, dahinter einen lichtlosen, schwarzen Gegenstand

hält und auf die Flüssigkeit sieht; sie wirft dann oben, wo sie eine[n] weiteren Umfang hat, das Licht stärker gefärbt dem Auge zu. Der Versuch läßt sich auch mit einem halbgefüllten Probircylinder anstellen, dem man das eine Mal, wenn man auf oder durch eine kleinere Flüssigkeitsmasse sehen will, wagerechte, das andere Mal senkrechte Stellung giebt.

Versuch b. Sieht man quer durch ein Stück weißes Fensterglas, so scheint es vollkommen durchsichtig und farblos. Legt man aber mehrere Stücke davon über einander, oder sieht man der Länge nach durch oder auf einen Glasstreifen, so zeigt er eine grünlich blaue Färbung. Dieselbe Erscheinung bieten Eis und Wasser dar, zum Zeichen, daß sie nicht vollkommen durchsichtig sind. Ueberhaupt erscheinen durchsichtige Körper gefärbt, sobald größere Massen derselben das Licht zurückwerfen oder hindurchlassen.

So hat auch die Luft in größeren Massen eine schöne blaue Farbe, die sie uns zuwirft. In den bedeutenden Höhen, zu denen man in Luftballons sich erhoben hat, und auf den Gipfeln hoher Gebirge, wo man dünnere und vollkommener durchsichtige Luftschichten über sich hat, erblickte man den lichtlosen Weltraum mit seiner dunklen Färbung. Erst die atmosphärische Luft, welche vorzugsweise die blauen Strahlen zurückwirft, giebt dem Himmelsraum für das Auge seine blaue Färbung. [Ge]bleicht wird das Blau des Himmels durch Rauch- und Staubtheilchen und besonders durch Wasserdämpfe, die als leichte Nebelschleier in der Atmosphäre schweben. Daher zeigt der Himmel das reinste Blau nach einem Regen, wenn diese der Luft beigemengten Theilchen niedergeschlagen worden sind.

Ursache der Abend- und Morgenröthe sind die in der Luft [ent]haltenen Wasserdämpfe. Vollkommen luftförmiger Wasserdampf ist [ganz] durchsichtig und farblos (§. 364); bei der Abkühlung verdichtet er sich zu einem weißen Nebel. Zwischen beiden Zuständen liegt eine Uebergangsstufe aus der Dampfform in die Nebelform.

Versuch c. In einem ungeheizten Zimmer stelle man ein Gefäß mit siedend heißem Wasser an ein von der Sonne beschienenes Fenster, nehme seinen Standpunkt möglichst entfernt davon und schaue durch den aufsteigenden Dampf nach einer unterhalb der Sonne liegenden Stelle des Himmelsgewölbes. Nach etlicher Zeit wird man 30 bis 60 Cm. hoch über dem Gefäße den Dampf, der, sich allmählich abkühlend, sich in jener Uebergangsstufe befindet, röthlich und gelblich gefärbt erblicken. Dieselbe Erscheinung beobachtet man an dem ausströmenden Wasserdampf über dem Sicherheitsventil einer Locomotive.

Diese Uebergangsstufe durchläuft der Wasserdampf in der Luft naturgemäß bei Sonnenuntergang und Sonnenaufgang und läßt dann nur die orangerothen Strahlen der dahinter stehenden Sonne durch. Gegen Sonnenuntergang kühlen der Erdboden und die Luft sich ab, die Sonnenstrahlen haben einen weiten Weg durch die Dämpfe zurückzulegen, welche sich allmählich zu Nebelbläschen (§. 375) verdichten, und es erscheint ein prachtvolles Abendroth. Enthielt aber die Atmosphäre me[hr]

Dämpfe, und haben sie schon vor Sonnenuntergang zu Nebeln und Wolken sich verdichtet, so zeigt sich ein mattes, gelbes Abendroth, ein Vorzeichen von bald eintretendem Regen. Des **Morgens** steigen die Dämpfe erst auf, wenn die Sonne eine Zeit lang gewirkt hat und schon hoch steht; dann haben die Sonnenstrahlen einen kürzeren Weg durch die Atmosphäre und gehen durch kleinere Dampfmassen. Aus diesem Grunde ist das Morgenroth in der Regel weniger lebhaft, als das Abendroth. Ist dagegen so viel Wasserdampf in der Atmosphäre, daß er in ihren höheren Schichten trotz der aufgehenden Sonne in Nebel- oder Wolkenform übergeht, so wird ein prachtvolles Morgenroth wahrgenommen, das ebenso ein Vorbote des Regenwetters ist, wie ein mattes Abendroth, wogegen Abendroth und Morgengrau als Anzeichen schöner Witterung gelten.

§. 342. Hauptfarben und Mittelfarben.

Unter den Stoffen, welche das weiße Licht bei der Zurückwerfung zersetzen und dem Auge nur eine Gattung farbiger Strahlen zusenden, giebt es solche, die sich zu einem feinen Staube zerkleinern lassen. Diese sind zu *Farbestoffen oder Malerfarben* geeignet.

Für die nächsten Versuche verschaffe man sich geringe Mengen folgender vier Farbestoffe, die fast in jeder Apotheke vorräthig sind: Rother Carmin, blauer Indigocarmin, Berliner Blau und Gummigutti. Nicht ganz die Hälfte von einem jeden werde einzeln mit einer dünnen Lösung von Gummi arabicum in Wasser auf einer Glasscheibe verrieben.

Versuch a. Man reibe einen Theil des übrig gebliebenen *rothen* Carmins zusammen mit dem *gelben* Gummigutti; die Mischung wird *Orange* geben. — Gummigutti und Berliner Blau zusammengerieben, giebt *Grün*. — Rother Carmin und Indigo zusammen wird *Violett* geben.

Beim Malen stellt man sich sonach aus **drei Hauptfarben** (Grundfarben), **Roth, Gelb** und **Blau,** durch Mischung die im prismatischen Farbenbilde zwischen ihnen liegenden Farben her. *Orange* liegt in dem Farbenbilde §. 335 in der Mitte zwischen Roth und Gelb, *Grün* in der Mitte zwischen Gelb und Blau, *Violett* zwischen der vorletzten Farbe, Blau, und der ersten, Roth. *Orange*, *Grün* und *Violett* sind unter den durch Zurückwerfung entstehenden Farben gewöhnlich nicht einfache Farben, wie das durch ein Prisma dargestellte Orange, Grün und Violett; sondern sie sind zusammengesetzt und heißen, weil jede durch Vermischung der zwei Hauptfarben entsteht, in der Mitte zwischen denen sie im prismatischen Farbenbilde ihre Stellung hat, **Mischungs-** oder **Mittelfarben.**

Roth u. Gelb.	Gelb u. Blau.	Blau u. Roth.
Orange.	Grün.	Violett.

Versuch b. Die Mittelfarben lassen sich, wie durch wirkliche Vermischung auch hervorbringen, indem man sie bloß für das Auge vermischt. Man nimmt eine dünne, kreisrunde Pappscheibe von 13 Cm. Durchmesser und bemalt die eine Hälfte roth, den andern Halbkreis gelb. Nach dem

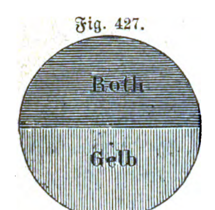
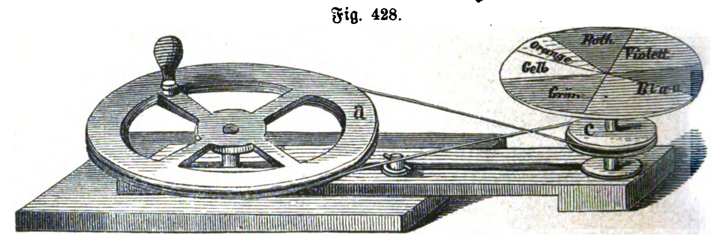


Fig. 427.

in §. 323 b und c angegebenen Verfahren wird diese Farbenscheibe in wagerechter Stellung sehr schnell umgedreht. Für das Auge vermischen sich beide Farben, weil in ihm der Eindruck des Roth noch fortwährt, während schon der des Gelb hinzukommt, und geben zusammen Orange. Derselbe Versuch wird ebenso für Grün und Violett angestellt.

Versuch c. Auf ähnliche Weise kann für die durch Zurückwerfung hervorgebrachten Farben dargethan werden, daß sie zusammen Weiß geben. Man theilt eine kreisrunde Pappscheibe von 13 Cm. Durchmesser in sieben oder, wenn man Blau und Dunkelblau für eine Farbe rechnet, in sechs Kreisausschnitte von derjenigen Größe, welche jede Farbe im prismatischen Farbenbilde einnimmt. Es kommen auf Roth 45, Orange 27, Gelb 48, Grün 60, Blau ebenfalls 60, Dunkelblau 40, Violett 80 Grad. Jeder Ausschnitt wird mit der entsprechenden Farbe bemalt. Ebenso, wie

Fig. 428.



in Versuch b, oder durch eine Schnur ohne Ende in schnelle drehende Bewegung gesetzt, muß dieser Farbenkreis ein weißliches Ansehen haben. Um das Weiß mehr zu heben, das wegen der geringen Lichtstärke etwas ins Graue fällt, thut man wohl, auf die Mitte des Farbenkreises eine kreisförmige, schwarze Papierscheibe von 4 Cm. Durchmesser zu kleben und den äußeren Rand des Farbenkreises zu schwärzen. Herrscht beim Umdrehen eine Farbe vor, so muß man ihr entweder durch Streichen mit einem in reines Wasser getauchten Tuschpinsel von ihrer Lebhaftigkeit etwas nehmen, oder die Lebhaftigkeit der anderen Grundfarben durch neues Auftragen von Farbestoff zu erhöhen suchen.

Versuch d. Man schließe das Roth aus den Farben des Farbenkreises aus, indem man einem Stück weißen Papiers gerade die Gestalt des rothen Kreisausschnittes giebt, es darauf legt, über den Mittelpunkt hinwegreichen läßt, hier durchbohrt und dort den Kork festklemmt. Rasch gedreht, zeigt der Farbenkreis jetzt grüne Färbung. Wäre zu dem Grün noch das ausgeschlossene Roth hinzugefügt, so würde es mit ihm zusammen Weiß geben. Wird umgekehrt das Grün verdeckt, so stellt sich der Farbenkreis röthlich dar. Durch Ausschluß des Orange erhält man Blau; wird zum Blau Orange hinzugefügt, so ergänzt es dasselbe zu Weiß.

Versuch e. Deshalb verdecke man alle Farben des Farbenkreises mit Ausnahme von Roth und Grün, und man wird bei schneller Drehung Weiß erhalten.

Von zwei sich gegenseitig zu weißem Lichte ergänzenden Farben heißt ie eine die **Ergänzungsfarbe** oder complementäre Farbe der andern. In dem gezeichneten Farbenkreise (mit sechs Farben) stehen die Ergänzungs-arben einander gegenüber, nämlich:

Roth und Grün,
Orange und Blau,
Gelb und Violett.

§. 343. Subjective Farbenerscheinungen.

Es kommen nicht selten Erscheinungen vor, bei denen wir Farben ehen, die in Wirklichkeit gar nicht vorhanden sind, und welche als **sub-ective Farbenerscheinungen** (vergl. §. 301) bezeichnet werden. So rscheinen z. B. zur Zeit des Abendroths Schnee und Wolken mit grün-icher Färbung. Bei einer prachtvollen Abendröthe erscheint die Dampf-nasse, die einer Locomotive entströmt, in einer lebhaften grünen Färbung; benso scheinen bei einem Nordlicht die Sterne in grünlichem Glanze.

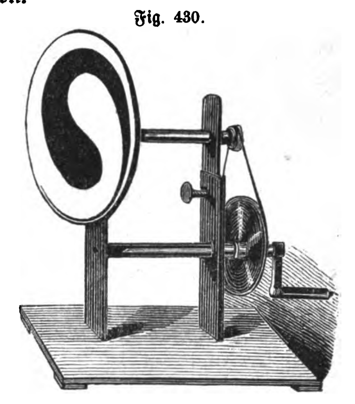
Versuch a. Aus geringer Entfernung sehe man in der Richtung iach dem Fenster auf ein lothrecht gehaltenes einfarbiges und durch-cheinendes Papier. Die meisten Umschläge broschirter Schriften eignen ich dazu, noch besser ist lebhaft gefärbtes Glas. Dicht inter den farbigen Gegenstand bringe man einen doppelt-elegten, fingerbreiten oder noch schmaleren Streifen on weißem Papier. Ist der farbige Gegenstand elb, so erscheint der weiße Streifen violett, über-aupt in der Ergänzungsfarbe. Das Auge wird durch as gelbe Licht, das hindurchscheint, für die schwächeren gelben Lichtstrahlen, ie das weiße Papier unter den andern Strahlen ihm zusendet, un-mpfindlich und abgestumpft und vermag aus dem zusammengesetzten, eißen Lichte nur noch die übrigen Lichtgattungen aufzufassen, die zu-ammen die Ergänzungsfarbe, Violett geben.

Fig. 429.

Violett

Versuch b. Auf eine kreisrunde weiße Papierscheibe von 13 C. im Durchmesser oird ein lebhaft gefärbter, etwa rother Streifen geklebt, den man spiralförmig ge-chnitten hat. Der farbige Streifen erhält eine olche Breite, daß die übrig bleibende, weiße Hälfte der Pappscheibe einen ebenso großen Spiralstreifen ausmacht. Mit Hülfe der n §. 323 c angegebenen Vorrichtung oder iner Schnur ohne Ende dreht man die Scheibe zuerst sehr schnell, so daß sie ganz oth erscheint. Während das Auge unver-andt und fest darauf blickt, verlangsamt an dann plötzlich die Bewegung. Für das othe Licht abgestumpft, sieht man dabei den weißen Streifen in grüner Färbung.

Fig. 430.



Versuch c. Irgend einen einfarbigen Gegenstand, den Schnitt ein[es] Buches oder ein Blatt Papier I, stelle man so auf, daß es schräg von der Tageslichte getroffen wird. In einem spitzen Winkel dagegen lehne m[an] ein Blatt dünnes Schreibpapier II, das meistens etwas durchscheinend [ist].

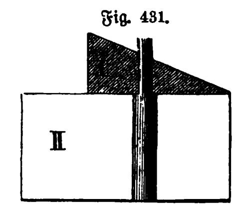


Fig. 431.

Befindet sich das Auge auf der in der Zeichn[ung] sichtbaren Seite des weißen Papiers, so sieht [es] das von dem farbigen, beispielsweise gelben, Ge[gen]stande zurückgeworfene Licht durch das weiße P[apier] hindurchschimmern. Nun stelle man aber dicht [an] das weiße Papier einen Bleistift; das Tages[licht] verursacht hinter ihm einen Schatten, und in [die]sen dringen die gelben Lichtstrahlen und färben ih[n in] Wirklichkeit gelb. Allein auf der einen Begrenzung des Schattens, [in] der Zeichnung auf der linken Seite, findet sich eine Stelle, wohin die gel[ben] Strahlen nicht dringen können, und die daher weiß aussehen sollte. [Hier] erscheint ein schmaler Streifen, der die Ergänzungsfarbe Violett zu b[e]scheint, aber in Wirklichkeit nicht hat.

Versuch d. Hat man einen Streifen von farbigem, etwa von bl[auem] Glase, so lege man ein Blatt weißes Papier auf ein Fensterbrett, so [daß] es von den Sonnenstrahlen getr[offen] wird. Hält man in der Richtung [der]selben den blauen Glasstreifen, [so] wird ein Theil des Papiers nur [von] dem durchgelassenen blauen Lich[t ge]troffen und erscheint blau. Nun b[ringe] man einen undurchsichtigen K[örper] zwischen Glas und Papier, so d[aß er] in das blaue Viereck auf dem Pa[pier] seinen Schatten wirft. Der Scha[tten] wird dem Auge sehr deutlich oran[ge]farben erscheinen.

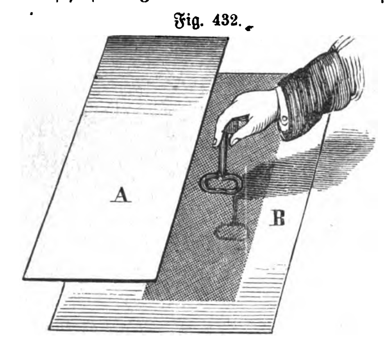


Fig. 432.

Durch den lebhaften Eindruck einer bestimmten Farbe für schwäc[here] Eindrücke derselben Art unempfindlich geworden, fordert das Auge die E[r]gänzungsfarbe. Erst durch das Hinzukommen derselben wird es [be]friedigt. Beide Farben stimmen harmonisch zu einander, weil sie zusam[men] weißes Licht geben, wie es das Auge von der Hauptquelle des Lichts [der] Erden, von der Sonne, zu empfangen gewohnt ist. Aus diesem Gr[unde] nennt man die Ergänzungsfarben auch harmonische Farben und [sieht] es als eine Hauptregel eines guten Geschmackes bei der Zusammenstel[lung] verschiedener Farben an, daß die Ergänzungsfarben neben einander ge[stellt] werden. So sind bei der Anordnung eines Blumenbouquets, sobald [rothe] Blüthen darin vorkommen, Gewächse mit hinreichendem Grün hinzuzuf[ügen] und die orangefarbenen Blumenkronen neben die blauen, sowie die ge[lben] neben die violetten zu stellen.

Die Wärme.

Die Erregung der Wärme.

§. 344. I. Wärmeerregung durch Reiben.

Versuch a. Ein Kork wird mit einem Pfriemen durchbohrt und der eine Stricknadel geschoben. Bewegt man den Kork schnell hin und er, so daß er sich an der Stricknadel, ie man festhält, reibt, so fühlt man bald, enn man sie mit den Fingern berührt, aß sie sehr warm geworden ist.

Fig. 433.

Versuch b. Man nehme eine abgeriffene Kupfermünze und lege sie mit er glatten Fläche auf den Fußboden oder uf ein 40 Cm. langes Brett. Mit zwei ingern, die man auf die Münze drückt, ißt sie sich leicht in der Richtung der olzfasern hin und her schieben. Indem e sich an dem Holze reibt, wird sie llmählich so heiß, daß man die Finger egziehen muß.

Aehnliche Erscheinungen bietet as tägliche Leben in großer Anzahl dar. errostete Nähnadeln pflegt man vom tost zu befreien, indem man sie auf den ußboden legt, den Fuß darauf setzt und hnell hin und her bewegt; wenn man ach diesem Reiben die Nadel aufnimmt, ndet man sie sehr heiß. Beim Messerputzen erwärmt sich die Klinge es auf dem Brette geriebenen Tischmessers. Bohrer, Sägen und eilen werden bei anhaltendem Gebrauch an den Stellen, welche sich egen das Holz oder Metall gerieben haben, so heiß, daß man sie nicht it der Hand berühren mag; an einem schnell umgedrehten Schleifstein

werden die zu schleifenden Metallgegenstände glühend oder sprü
Funken. Drechslerarbeit aus Holz wird dadurch mit schwarz
Ringen verziert, daß der Drechsler ein Stück harten Holzes dage
hält und sich an dem fortwährend umgedrehten Gegenstande so lange rei
läßt, bis die zu verzierende Stelle durch die Hitze verkohlt ist. Wag
axen entzünden sich bei schnellem Fahren, wenn sie nicht gehörig geschm
sind und sich deshalb am Rade reiben, und eiserne Hemmschuhe erh
sich durch die Reibung an dem abschüssigen Erdboden häufig derge
daß sie zischen, wenn sie an eine mit Wasser bedeckte Stelle des W
kommen; Seile, die sehr schnell über Rollen laufen, oder an denen
sich mit großer Geschwindigkeit hinabläßt, und nicht geschmierte Za
an Maschinenrädern erwärmen sich bis zur Entzündung; ja es ger
die hölzernen Theile einer Mühle in Brand, wenn die Mühlsteine
Getreide mehr zu mahlen haben und sich an einander reiben. Reiben
doch selbst die kalten Hände im Winter, um sie zu erwärmen; w
doch auch die über den kalten Schnee dahingleitenden Schlitten b
wärmer, und können wir doch Eis, Wachs und Talg durch Reiben
kalten Gegenständen zum Schmelzen bringen. Aus diesen Thatsachen

das **Gesetz**, daß durch Reiben Wärme erregt wird.

Durch Anwendung dieses Mittels hat man sich von jeher Fe
verschaffen gewußt. Wilde Völkerschaften wissen von keinem anderen
zeug, als von zwei trocknen Holzstücken, die sie von ungleich
Bäumen nehmen und so lange an einander reiben, bis sich Fünkchen
dann umhüllen sie dieselben mit trocknen Blättern, schwingen sie
Luft hin und her und fachen dadurch eine helle Flamme an.
vollkommener ist das aus Stahl und Feuerstein bestehende Feue
Wie durch die heftige und plötzliche Reibung an einander geschl
Kieselsteine kleine Steinstücke glühend losgerissen werden, und wie
des Abends fast bei jedem Tritt eines Pferdes auf einer gepfla
Straße Theilchen des Hufeisens glühend nach allen Richtungen
sieht, so nimmt man beim Schlagen eines Feuerstahls an einem Fe
zahlreiche Funken wahr, welche Schwamm, Zunder oder faules H
entzünden vermögen. Läßt man die Funken auf weißes Papier
und betrachtet man sie durch ein Vergrößerungsglas (ein Brennglas
erkennt man darin Stahlstückchen, die in Folge der heftigen Reibung gl
gewesen sind. Unsere Streichzündhölzchen entzünden sich, wenn
damit über eine rauhe, reibende Fläche streicht. Bei Bereitung
Streichhölzchen taucht man zuerst das eine Ende der Hölzchen in
schmolzenen Schwefel, läßt ihn erkalten und überzieht ihn mit einer
masse, die aus Phosphor, Leim und Salpeter zusammengesetzt ist. Phos
allein würde sich schon bei gewöhnlicher Sonnenwärme von selbst
zünden, indem er sich mit dem Sauerstoff der Luft verbindet; d
schmelzt man den Phosphor in einem eisernen Mörser unter Wasser
Leim und nach dem Erkalten Salpeter zu und taucht in diese sch
artige Masse die Schwefelhölzchen. So ist der Phosphor in eine

rinde eingehüllt, welche das Hinzutreten der Luft hindert; beim Streichen der Zündhölzer wird die Rinde losgerissen oder gesprengt, und der Phosphor so erwärmt, daß er sich unter eintretender Entzündung mit dem Sauerstoff des daran reichen Salpeters verbindet und so lange brennt, bis der Schwefel und das Holz Feuer gefangen haben. Die Zündmasse der schwedischen Streichhölzer besteht aus chlorsaurem Kali und Schwefel; auf die für sie bestimmte Reibfläche ist ein Gemenge von Schwefelantimon und rothem, nicht giftigem Phosphor aufgetragen.

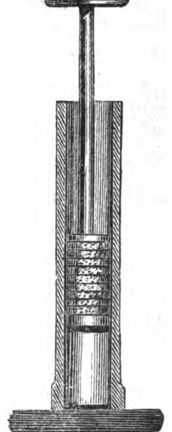
§. 345. II. Wärmeerregung durch Zusammenpressen.

Versuch a. Auf einem harten Stein oder einem größeren Stück Eisen hämmere man einige Zeit ein 2 Cm. breites Metallblech oder einen großen Nagel. Das Blech oder der Nagel zeigen sich, wenn man sie nach dem Hämmern mit den Fingern berührt, ziemlich warm. Durch das Hämmern wird das Metall zusammengepreßt, und durch das Zusammenpressen wird Wärme erregt.

Versuch b. Ein schmales Stückchen elastisches Gummi werde schnell und stark in die Länge gezogen; dadurch wird es der Breite nach zusammengepreßt, und die früher von einander entfernteren Theilchen werden sich gegenseitig genähert. Hält man es an die Lippen, so fühlt man, daß durch diese Zusammenpressung Wärme erregt wird.

Gegenstände, die der vollen Kraft einer hydraulischen Presse ausgesetzt worden, zeigen sich beim Herausnehmen ziemlich warm. Wenn die mit Hülfe einer Durchschnittmaschine (§. 57) aus starken Platten ausgeschlagenen runden Metallstücke zu Münzen geprägt werden und zwischen den beiden Prägestempeln liegen, so werden sie plötzlich warm, sobald der obere Stempel mit bedeutender Kraft niedergetrieben wird und das Metallstück zusammenpreßt. Rammklötze werden beim Gebrauch heiß. Die Luft wird erwärmt, wenn man sie schnell in dem Kolben einer Windbüchse verdichtet, und in dem für den alltäglichen Gebrauch nicht geeigneten Compressionsfeuerzeug oder pneumatischen Feuerzeug, einer hohlen, unten verschlossenen Metallröhre, in welche sich ein luftdicht anschließender Kolben schieben läßt, wird ein hineingelegtes Stück Schwamm entzündet, wenn man den Kolben schnell hineinstößt und dadurch die Luft in der Röhre zusammenpreßt. Knallquecksilber und Knallsilber sind Stoffe, die bei der geringsten Zusammenpressung (oder Reibung) sich erwärmen, in Luftarten verwandeln und explodiren, und werden durch Auflösen von Quecksilber oder Silber in Salpetersäure und Mischen dieser Lösungen mit starkem Spiritus bereitet; das Knallquecksilber dient, mit Pulver gemengt und mit Harz überzogen, zur Füllung der Zündhütchen

Fig. 434.



für die Percussionsgewehre; das leichter explodirende Knallsilber wird
Füllung der aus Glaskugeln bestehenden Knallerbsen und für die Kn
bonbons verwandt. Aus chlorsaurem Kali, Schwefel und Kohlenpul
mit Tragantschleim zu einem Teig gerührt, formt man Zündkügelch
die in die Patronen der Zündnadelgewehre gebracht und durch den
der Nadel entzündet werden. Sonach steht es fest, daß

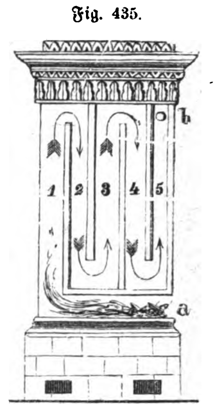
durch Zusammenpressen Wärme erregt wird.

§. 346. III. Wärmeerregung durch chemische Vorgänge.

Am häufigsten bringen wir durch Verbrennen von Holz
anderen Brennmaterialien Wärme hervor; das Verbrennen ist ein chem
Vorgang (§. 246 u. folg.). Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Br
materialien entwickeln ungleiche Wärme. Um ihr Heizungsvermögen
erforschen, hat man durch Versuche ermittelt, wie viel Klgr. Wasser
ein Klgr. der zu untersuchenden Brennmaterialien bis zu einem bestim
Wärmegrad erhitzt werden, und gefunden, daß durch Steinkohlen,
kohlen, Koks und Spiritus die vierfache, durch trocknes Holz aber
doppelte Wärme erregt wird, im Vergleich zu der durch gewöhn
Torf entwickelten. Die durch Verbrennen erregte Wärme muß
möglichst vollständig und möglichst vortheilhaft zu benutzen und
Herden und Oefen eine zweckmäßige Einrichtung zu geben suchen
einem offenen Kochherde wird nur der zwanzigste, und bei den m
Zimmerheizungen kaum der fünfte Theil der entwickelten Wärme
benutzt, und der Rest geht verloren. Ein gut gebauter Ofen muß
bloß dem Zimmer eine hinreichend große Fläche zukehren; sonder
Verbrennung muß auch lebhaft und vollständig vor sich gehen, und
Rauch, bevor er entweicht, so durch den Ofen geleitet werden, d
an denselben den größten Theil seiner Hitze abgiebt. Am vollkomm
sind die aus Kacheln gefertigten russischen Stubenöfen. Der im
unteren Theile eingerichtete Feuerraum a reicht von der Ofenthür bis
der ihr gegenüberstehenden Wand des Ofens. Hier steigt der erste
des Ofens lothrecht empor; oben steht er mit einem zweiten Zug
Verbindung, der lothrecht abwärts führt; ein dritter Zug steht unten
dem zweiten und oben mit dem vierten in Verbindung, und unten
dem vierten könnte durch eine Röhre der Rauch in den Schornstein
langen. Gewöhnlich aber befindet sich hinter der gezeichneten vor
Reihe von Zügen noch eine zweite, so daß solche Oefen acht Züge h
Die erwärmte Luft steigt in dem ersten Zuge empor, wird durch
nachrückende Luftmenge abwärts in den zweiten Zug gedrängt und
da sie einen sehr langen Weg durch die Züge zu machen hat, ihre Wär
an diese zum größten Theil ab, ehe sie in den Schornstein entw
Ist in einem Ofen das Heizungsmaterial fast verbrannt, so ist der
zug fortan schädlich; es dringt kalte Luft in den Ofen, erwärmt sich in
nimmt den Zügen die Wärme und geht in den Schornstein. Um den

zug abzuschneiden, schloß man sonst bei den gewöhnlichen Oefen eine Klappe, die aus dem oberen Theile des Ofens in den Schornstein führte; allein die häufigen Unglücksfälle (§. 255) bei zu frühem Schließen der Klappe machten es wünschenswerth, dem Luftzug auf eine andere Weise ein Ende machen zu können. Bei den russischen Oefen bringt man eine luftdichte Ofenthür an; die warme Luft kann, wenn die Thür geschlossen wird, den Ofen nicht verlassen, weil aus dem Zimmer keine Luft nachrücken kann; die kältere Luft des Schornsteins kann, weil sie stets sinkt, nicht in den Ofen gelangen und würde, falls, wie in der Zeichnung, die Ofenröhre oben aus dem fünften Zuge bei b in den Schornstein führt, nur einen Zug des Ofens füllen. Bei einem gewöhnlichen Ofen mit wagerechten Zügen ist die luftdichte Ofenthür nicht in demselben Grade zweckmäßig, weil aus dem Schornstein sich allmählich kalte Luft in den Ofen hinabsenkt. Eiserne Oefen leisten gute Dienste in großen Räumen, die schnell und auf kurze Zeit erwärmt werden sollen; sollen sie einem Wohnzimmer fortwährend Wärme geben, so müssen sie auch fortwährend geheizt werden und erfordern unnöthig viel Brennmaterial. Eiserne Oefen erwärmen durch Strahlung (§. 393) die undurchsichtigen Gegenstände des Zimmers, die Luft bleibt kälter, und in der Nähe des Ofens ist die Wärme auffallend groß; ist das Feuer erloschen, so sinkt die Temperatur schnell. Kachelöfen dagegen verbreiten die Wärme durch Leitung und Strömung der Luft (§. 356). Die dem Ofen nächsten Luftschichten empfangen von ihm Wärme, steigen empor und machen kälteren Platz, bis allmählich jedes Lufttheilchen in Berührung mit den warmen Kacheln gekommen ist; die Luft theilt den festen Körpern im Zimmer Wärme mit, weshalb darin eine mehr gleichmäßige Temperatur herrscht. Zugleich ist die Wärme nachhaltiger.

Fig. 435.



Wie die Verbrennung, so werden viele chemische Vorgänge von einer Wärmeerregung begleitet.

Versuch a. Ein Stück gebrannten Kalk besprenge man mit Wasser; es erhitzt sich in kurzer Zeit dermaßen, daß seine Wärme den umfassenden Fingern unerträglich wird, und zerfällt zu einem staubigen Pulver, welches das Kalkstück an Gewicht übertrifft. Mit dem Kalk hat sich Wasser zu einem neuen Körper, gelöschtem Kalk, verbunden, in welchem es in fester Gestalt vorhanden ist. Diesen Versuch sieht man von den Maurern häufig in größerem Maßstabe anstellen; der gebrannte Kalk, der zum Mauern gebraucht werden soll, muß zuvor gelöscht werden, wird in offene Gruben geschüttet und mit Wasser übergossen; dabei wird eine so beträchtliche Wärme erregt, daß die ganze Masse zu sieden beginnt.

Versuch b. Man gieße allmählich etwas concentrirte Schwefelsäure in Wasser. Bei der Mischung entsteht immer eine solche Erhitzung, daß das Gefäß warm wird, weshalb man beim Verdünnen der

Schwefelsäure nach der in §. 234 angegebenen Weise verfährt. No
stärker wird die Erhitzung, wenn man unvorsichtiger Weise umgeke
Wasser zur Schwefelsäure gießt.

Versuch c. Einige Körnchen von chlorsaurem Kali, einem Sal
das mit der größten Vorsicht behandelt werden muß, weil es beim Rei
oder Stoßen explodirt, menge man zwischen den Fingern mit gepulvert
Schwefel. Streut man das Gemisch auf concentrirte Schwefelsäu
so erfolgt ein Knistern und eine Entzündung des Schwefels. Das ch
saure Kali wird zersetzt, und durch die dabei eintretende Erhitzung
Schwefel entzündet.

Gesetz: Durch die meisten chemischen Vorgänge wir
Wärme erregt.

Chemische Vorgänge sind auch die Ursache der sogenannten **Selb
entzündungen.** Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts brach zu Kron
und Petersburg in Magazinen, die ganz aus Stein und Eisen erbaut war
und in denen unter Anderem Kienruß und Hanföl aufbewahrt wurde
Feuer aus, und die auf Befehl der Kaiserin Katharina II. angeste
Versuche lehrten, daß ein Gemenge aus jenen beiden Stoffen nach ein
Zeit zu rauchen anfing und in helle Flammen ausbrach, als man
Thür öffnete. So erhitzen sich auch gefettete Wolle, die fest zusamm
gepackt ist, gepreßte wollene Tücher, bevor sie gewalkt und ihres Fe
beraubt worden sind, und gefirnißte Zeuge, die fest auf einander ge
sind und beim Trocknen eine große Menge Sauerstoff aufnehmen
verdichten. Nasse Planzenstoffe, Heu, Klee, Dünger, Sägespäne,
in Haufen fest übereinander liegen, verfaulen zu einer schwarzen, kohle
reichen Masse und erhitzen sich unter Entwickelung einer dichten Me
von Kohlenwasserstoffgas, das sich beim Zutritt der Luft entzünden ka
gemahlener Kaffee und Cichorien werden, wenn sie warm verpackt
feuergefährlich, und große Massen pulverisirter Kohlen saugen,
Unglücksfälle in Pulverfabriken gelehrt haben, Luftarten ein und verdich
dieselben, bis eine Entzündung eintritt.

§. 347. IV. Wärmeerregung durch die Sonnenstrahlen.

Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde sind die erwärmen
Strahlen der Sonne.

Versuch. Man halte die Hand zuerst in solcher Stellung gegen
Sonnenstrahlen, daß sie von ihnen sehr schräg getroffen und fast
gestreift wird. Hält man darauf die Handoberfläche so, daß
Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dieselbe fallen, so wird man ein
weit höheren Grad von Wärme fühlen, als zuvor.

So überraschen schräg stehende Pfähle oder Steine, welche von de
Mittagssonne rechtwinklig beschienen werden, die sie berührende Hand du
ihre Hitze. Die Füße des Wanderers empfinden die größere Hitze de
Bodens auf dem südlichen Abhange eines sandigen Hügels. Auf de
Dächern, die fast rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen werde

schmilzt der Schnee früher, als in der horizontalen Ebene. Somit hängt die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen von der Richtung ab, in der sie eine Fläche treffen. (§. 296 c.)

Gesetz: Die Sonnenstrahlen erregen die größte Wärme, wenn sie rechtwinklig auf eine Fläche fallen; je schräger sie einen Körper treffen, desto weniger erwärmen sie ihn.

Daraus erklärt sich 1) der tägliche Wärmewechsel; am Morgen und am Abend treffen die Sonnenstrahlen die Erde sehr schräg; am Mittag weicht ihre Richtung weniger von der lothrechten ab; deshalb ist der Mittag die wärmste Tageszeit. 2) Der jährliche Wärmewechsel, der Unterschied zwischen Sommer und Winter, hat in ähnlicher Weise seinen Grund darin, daß im Sommer die Sonne um Mittagszeit weit höher steht und ihre Strahlen unserm Erdtheil weit weniger schräg zusendet, als im Winter; dazu kommt, daß die Sonne während der längeren Sommertage längere Zeit sich über dem Horizont befindet und erwärmend wirkt, als in den kurzen Wintertagen. 3) Ferner wird die Verschiedenheit der Zonen auf der Erde durch die verschiedene Richtung der auffallenden Sonnenstrahlen bewirkt, welche die heiße Zone lothrecht, die gemäßigten mäßig schräg und die kalten überaus schräg treffen; daher die glühende Hitze der Aequatorialgegenden und die Kälte der Polargegenden, in denen Erdboden und Wasser fast immer bis zu beträchtlicher Tiefe gefroren sind.

Durch Brennspiegel und Brenngläser (§. 304 u. 312) wird eine Menge erwärmender Sonnenstrahlen aufgefangen, und ihre Richtung so verändert, daß sie alle in einem Punkt zusammentreffen und hier durch ihre vereinigte Wirkung eine Hitze hervorbringen, beträchtlich genug, um leicht brennbare Körper zu entzünden. Der Graf Tschirnhausen ließ aus einer dicken Kupferplatte einen Brennspiegel von fast 2 M. Durchmesser arbeiten, mit welchem in einer Entfernung vor 1,25 M. Silber geschmolzen, Ziegel und Erden verglast wurden; Graf Büffon zu Paris stellte 168 ebene Spiegel so zusammen, daß sie alle die auffallenden Sonnenstrahlen nach derselben Stelle zurückwarfen, und entzündete damit einen Holzstoß in der Entfernung von 60 M.; eine ähnliche Zusammenstellung von ebenen Spiegeln bildete vielleicht den Brennspiegel, mit welchem Archimedes die vor Syracus liegende römische Flotte von den Mauern der Stadt aus in Brand gesteckt haben soll. Mit 5 oder 6 kleinen ebenen Spiegeln kann man leicht den Versuch anstellen; fallen die Sonnenbilder, die sie geben, zusammen, so wird die Hand die Hitze kaum ertragen können. Das größte bekannte Brennglas ist das von Parker in London; es wiegt 106 Klgr., hat fast 1 M. im Durchmesser, und sein Brennpunkt liegt über 2 M. von dem Glase entfernt; Platin, Eisen und Smaragd werden durch dasselbe geschmolzen. Mit Wasser gefüllte Glaskugeln und Caraffen wirken, wenn sie von den Sonnenstrahlen getroffen werden, ähnlich dem Brennglase und sind Ursache von Feuersbrünsten geworden.

V. Wärmeerregung durch Elektricität.

Vergl. §. 189. 196. 206—208.

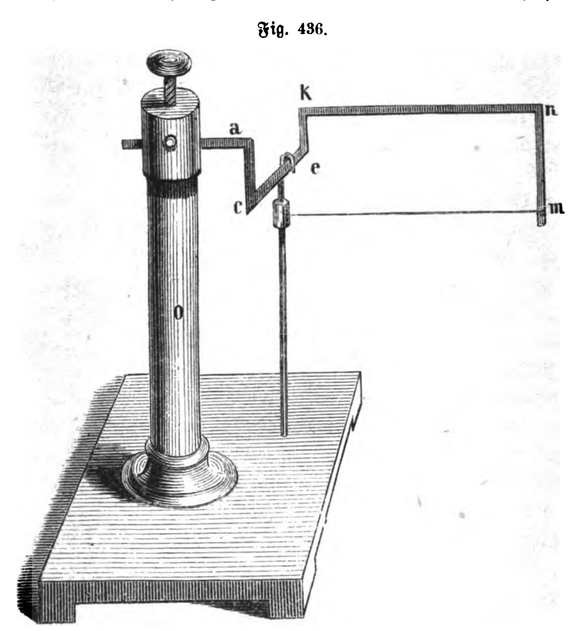
Wirkungen der Wärme.

I. Ausdehnung der Körper.

§. 348. Ausdehnung fester Körper durch die Wärme.

Versuch a. Man nehme einen 33 Cm. langen Messingdraht von solcher Stärke, daß er nicht im Mindesten durch sein eigenes Gewicht gebogen wird, wenn man sein eines Ende in der Hand hält. Den Draht biege man folgendermaßen. Ein 4 Cm. langes Ende auf der rechten Seite wird lothrecht abwärts gebogen; darauf bleibe eine etwa 18 Cm. lange Strecke horizontal, und das linke Ende führe zunächst nur 2,5 Cm. abwärts. Alsdann aber biege man den Draht 1 Cm. nach vorn und dann fast 2 Cm. nach oben; das übrig bleibende Stück führe horizontal nach der Linken. Von den beiden lothrechten Strecken ac und ke wird die erste dem Auge des Beobachters näher sein und sich vor der zweiten befinden. Dem äußersten Ende zur rechten Hand giebt man mit der Feile unten eine kleine Rinne, um dort einen Faden festbinden zu können. In Ermangelung eines anderen Gestelles kann man das linke Drahtende durch den Kork einer Flasche stecken und von derselben das Ganze tragen lassen. In die horizontale Strecke ec wird nun ein zweiter Draht gehängt, der nur dünn ist, mindestens eine Länge von 40 Cm. hat und oben zu einer Oese umgebogen wird. Ueber diesen Draht schiebe man ein Korkstückchen, binde darunter, 1 Cm. unter dem Aufhängepunkte des Drahtes an ihn einen dünnen Faden; das andere Ende des Fadens wird rechts um die Rinne des stärkeren Drahtes befestigt. Der Faden muß gespannt sein, und der hängende Draht nach rechts von der lothrechten Linie ab

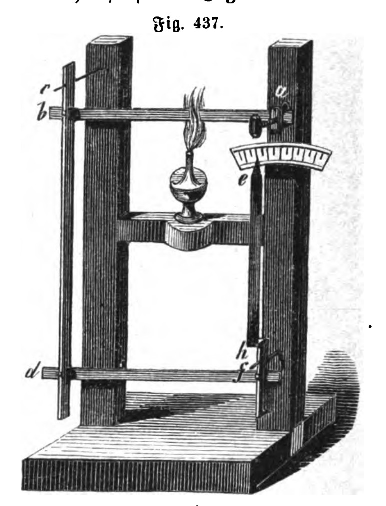
Fig. 436.



weichen. Noch stelle man unter den hängenden Draht einen Kork, aus dem oben eine Nadelspitze hervorragt; das untere Drahtende befinde sich dicht über der Nadelspitze. — Hält man eine Spirituslampe unter die längere, horizontale Strecke des stärkeren Drahtes, über die Mitte des Fadens, so wird das Metall durch die Hitze ausgedehnt; sein rechtes Ende bewegt sich nach der rechten Seite und zieht mittels des Fadens auch den hängenden Draht nach der Rechten. Der hängende Draht ist ein einarmiger Hebel; von seinem Aufhängepunkte bis zum Angriffspunkte des Fadens ist ein Arm von 1 Cm. Länge, bis zum unteren Ende des Drahtes aber mindestens von 40 Cm. Das untere Ende macht deshalb einen wenigstens 40 Mal so großen Weg, als der Angriffspunkt des Fadens und zeigt dem Auge die eingetretene Ausdehnung des stärkeren Drahtes deutlich und in vergrößertem Maße. Bei der Abkühlung geht der Hebel bis auf den Punkt über der Nadelspitze zurück, wo er ursprünglich stand; das rechte Ende des stärkeren Drahts hat sich dann nach links bewegt, und der Draht hat sich beim Erkalten wieder zusammengezogen. Der Versuch zeigt, daß ein fester Körper durch Wärme ausgedehnt wird, beim Erkalten aber sich zusammenzieht. Sollte etwa bei Erwärmung des Drahtes der Hebel sich, statt nach rechts, nach links bewegen, so ist das ein Zeichen, daß jener Draht zu dünn gewählt ist und sich gekrümmt hat.

Versuch b. Eine andere Hebelvorrichtung, um die Ausdehnung fester Körper durch Wärme sichtbar zu machen, stellt Fig. 437 dar. ab ist die Metallstange, die erwärmt wird; sie ist in a befestigt und greift mit dem andern Ende b an den kürzeren Arm bc eines einarmigen Hebels, der sich um den Punkt c dreht. Der ganze Hebel cd ist 30 Mal so lang, als der Arm cb; d macht also einen 30 Mal so langen Weg, als b. Die Stange df verbindet d mit dem zweiarmigen Hebel ehf, dessen Drehungspunkt h ist; he sei gleich dem Zwanzigfachen von hf. e macht daher einen zwanzig Mal so langen Weg, als f oder d; d macht schon einen 30 Mal so langen Weg, als b. e macht daher vor der eingetheilten Scheibe einen 600 Mal so langen Weg, als b. Dehnt die Stange ab sich um $\frac{1}{600}$ Cm. aus, so durchläuft das Ende e des zweiarmigen Hebels die Strecke von einem ganzen Cm.

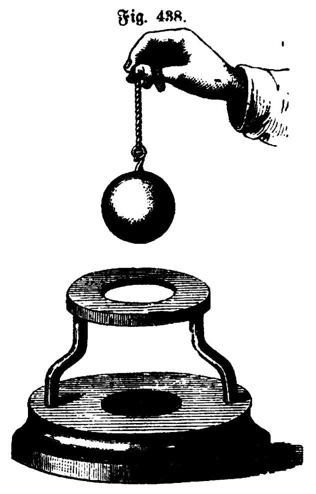
Fig. 437.



Versuch c. Man lasse sich einen eisernen Ring von 2 Cm. oder größerem Durchmesser machen und dazu eine passende, massive Messingkugel. Die Kugel darf sich zuerst nur mit Reibung durch den Ring drängen lassen und wird mit Smirgel in dem Ringe so weit abgeschliffen,

bis sie, ohne Spielraum zu lassen, hindurchfällt. Erhitzt man die Kugel über der Spirituslampe, und legt man sie dann auf den Ring, den man mit einem Stiel oder einem Fußgestell versehen kann, so fällt sie nicht hindurch; sie hat sich bei Zunahme der Wärme ausgedehnt. Ist sie erkaltet, so ist sie wieder kleiner geworden.

Fig. 438.



Verwandte Erscheinungen: Ein Topf, der sich kalt eben durch eine Ofenthür schieben läßt, läßt sich, wenn er heiß geworden ist, nicht wieder herausziehen, weil er durch die Wärme ausgedehnt ist; Plättbolzen füllen, wenn sie rothglühend sind, ihre Plätteisen fast aus, während sie zuvor mehr Spielraum hatten und sich darin hin und her schütteln ließen. Ein eiserner Wagenreif dagegen, der glühend um ein Rad gelegt wird, zieht sich beim Erkalten zusammen und schließt fest an das Rad an; gegossene Waaren füllen nach dem Erkalten ihre Form nicht mehr ganz aus, und heiß ins Nageleisen geschlagene Nägel lassen sich, wenn ihre Wärme abgenommen hat, leicht herausnehmen. Eisenbahnschienen verdrängen bei warmem Wetter einander aus ihrer Stelle, wenn man sie zu dicht an einander gelegt hat, und müssen Raum haben, um sich ausdehnen zu können; Zinkplatten an Bedachungen werden nicht zusammengenagelt, sondern nur gefalzt, das heißt, mit den umgebogenen Rändern an einander gehakt, damit sie sich, ohne zu reißen, zusammenziehen und, ohne sich zu werfen, ausdehnen können. Gläserne Stöpsel, die zu fest sitzen, lassen sich dadurch losmachen, daß man durch Reiben den sie umschließenden Flaschenhals erwärmt; man legt einen dicken Bindfaden um denselben, zwei Personen fassen die Enden des Fadens und ziehen ihn recht schnell hin und her; der Hals der Flasche wird warm und ausgedehnt, so daß der noch nicht erwärmte Pfropfen losläßt. Am Conservatorium der Künste zu Paris hat man sogar Mauern durch Erhitzen und Abkühlen eiserner Stangen in die lothrechte Stellung zurückgeführt; in einer weiten Gallerie waren die beiden Seitenwände durch das Gewicht des Daches aus ihrer Stellung getrieben, und man hatte durch dieselben Eisenstangen gezogen, die mit großen Schraubenmuttern versehen waren; aber keine Kraft schien hinreichend, um die Schrauben so stark anzuziehen, daß die Mauern ihre frühere Stellung wieder erhielten. Da ließ Molard die Eisenstangen durch Lampen erhitzen und, als sie sich in Folge der Erwärmung verlängerten, die Schrauben fester anziehen; beim Erkalten zogen sich die Stangen zusammen und brachten die Wände wieder einander näher und in lothrechte Stellung. So hat man auch, als die große Kuppel der Peterskirche zu Rom Risse bekommen hatte und aus den Fugen zu weichen drohte, fünf erhitzte eiserne Reifen um dieselbe gelegt, bei deren Abkühlung die Risse sich schlossen, und, als

später einer der Reifen bei einem Erdstoß sprang, noch einen sechsten Reifen hinzugefügt. Durch diese Thatsachen ist für feste Körper erwiesen das

Gesetz, daß durch die Wärme die Körper ausgedehnt werden, beim Erkalten aber sich zusammenziehen.

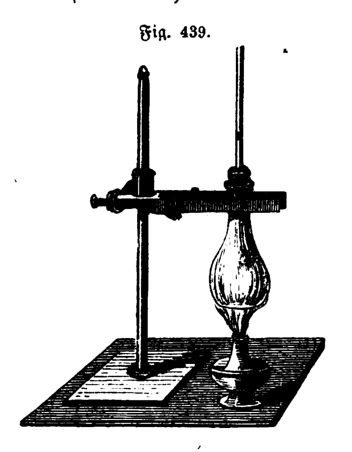
Wenn die Theile eines Körpers oder an einander haftende Körper ungleichmäßig erwärmt und dadurch ungleich ausgedehnt werden, so treten Erscheinungen ein, die in den meisten Fällen unwillkommen sind. Wird ein Glas auf den heißen Ofen gestellt, oder heißes Wasser auf den Boden des Glases gegossen, so springt es leicht in Folge der ungleichen Ausdehnung, die am Boden weit schneller und stärker ist, als an den weniger erwärmten Seitenwänden, und in Folge der Sprödigkeit des Glases, vermöge deren es sich nicht zu biegen vermag. Die zu schnelle Mittheilung der Wärme von dem Ofen an den Boden des Glases kann durch Unterschieben mehrerer Lagen Papier verhindert werden. Holz, Papier und Pappe werfen oder krümmen sich, wenn sie auf der einen Seite mehr erwärmt und ausgedehnt werden, als auf der andern. Der Thon in den Fugen eines Ofens trennt sich von den Kacheln oder Eisenstücken, sobald dieselben sich stärker ausdehnen; bei schneller Erhitzung oder Abkühlung springt die Glasur der Kochgefäße und löst sich ab, und eiserne Klammern, die bei strenger Winterkälte an ein Gebäude ohne Spielraum eingefügt sind, reißen sich bei wärmerem Wetter los.

Scheinbare Ausnahmen von unserem Gesetz bilden Thon, Leder, Papier und Holz. Das in den Poren dieser Körper befindliche Wasser (§. 85) giebt ihnen eine größere Ausdehnung, als sie sonst haben würden. Bei zunehmender Wärme verdampft ein großer Theil des in ihnen enthaltenen Wassers und steigt empor. Daher ziehen sich jene Körper bei zunehmender Wärme zusammen; sie verlieren die Ausdehnung, die sie dem Wasser verdankten.

§. 349. Ausdehnung tropfbarflüssiger Körper durch die Wärme.

Versuch a. Für eine Kochflasche oder einen weiten Probircylinder wählt man einen passenden Kork (§. 105), durchbohrt denselben und schiebt in die Bohrung eine enge Glasröhre, am besten eine Capillarröhre, genau anschließend ein, so daß sie unten nur wenig aus dem Kork hervorragt. Darauf füllt man die Kochflasche so weit mit Wasser, daß es, wenn der Kork fest eingedreht worden ist, noch einen Theil der Röhre einnimmt; wie hoch es darin steht, bezeichnet man durch einen mit Wachs bestrichenen Faden, den man um die Röhre bindet. Man bewegt eine Spirituslampe unter dem Boden der Flasche mehrmals hin

Fig. 439.



und her, damit die Erwärmung allmählich erfolge, und stellt sie dann darunter. Sehr bald wird das erwärmte Wasser in der Röhre empor steigen; es nimmt jetzt einen größeren Raum ein, als zuvor, es ist durch die Wärme ausgedehnt worden. Seine Ausdehnung ist desto größer, je mehr es erwärmt ist.

Versuch b. Ein 15 bis 18 Cm. langes Probirglas wird zum größeren Theil mit Petroleum (oder Spiritus) gefüllt; oben in dem Glase bleibt ein 3 Cm. hoher Raum leer; wie hoch die Flüssigkeit steht, zeigt das untere Ende eines Drahtes an, dessen oberes Ende man zu einem Haken umgebogen und über den Rand des Glases gehängt hat. Stellt man das Probirglas in einen Topf, der heißes Wasser enthält, so steigt das Petroleum ungefähr 1 Cm. Es wird durch die Wärme beträchtlich ausgedehnt. Läßt man das Petroleum erkalten, so zieht es sich wieder zusammen.

In jeder Küche kann man die Wahrnehmung machen, daß Wasser, Milch und andere Flüssigkeiten, wenn sie ein Gefäß bis zum Rande füllen, bei hinreichender Erwärmung überlaufen; nimmt man aber das Gefäß zuvor vom Feuer, so sinkt die sich abkühlende Flüssigkeit wieder und zieht sich in einen kleineren Raum zusammen.

§. 350. Ausdehnung luftförmiger Körper durch die Wärme.

Versuch a. Man tauche ein Probirglas mit seiner Oeffnung in ein Trinkglas voll Wasser, indem man es nahe seiner Oeffnung anfaßt und schräg hält, und bewege unter dem verschlossenen Ende des Glases eine Spirituslampe langsam hin und her. Die in dem Probirglas enthaltene Luft wird dadurch erwärmt, sie dehnt sich aus, hat in demselben nicht mehr Platz und entweicht zum Theil unter hörbarem Geräusch (in Blasen) durch das Wasser. Die übrig gebliebene Luftmasse füllt das ganze Probirglas. Entfernt man aber die Lampe, so zieht sich die Luftmasse, indem sie sich abkühlt, wieder zusammen, und es steigt, weil nunmehr weniger Luft in dem Probirglas ist, als zuvor, Wasser darin empor, getrieben durch den Druck der atmosphärischen Luft.

Fig. 440.

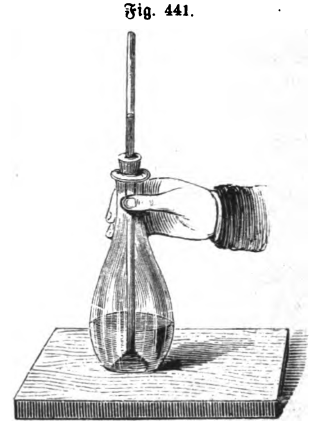


Noch deutlicher fällt der Versuch aus, wenn man das Probirglas mit einem durchbohrten Kork verschließt, aus dem eine mehrere Cm. lange Glasröhre hervorragt; man taucht dann die Röhre ins Wasser und kann das ganze Probirglas erwärmen.

Versuch b. Durch den Kork eines Probirglases oder eines andern Glases mit dünnen Wänden werde eine enge Röhre geschoben; sie muß luftdicht anschließen und so lang sein, daß sie bis fast auf den Boden hinab reicht. Vor dem Einsetzen des Korks wird ein wenig Wasser in das Glas gegossen; in der engen Röhre stellt es sich dann, zumal wenn es eine Capillarröhre ist, nach §. 85 etwas höher, als rings um dieselbe. Faßt

man den oberen Theil des Glases, welcher Luft enthält, mit der warmen Hand an, so dehnt sich die Luft aus, gebraucht mehr Raum und verdrängt einen Theil des Wassers; das Wasser steigt daher in der Röhre. Die Vorrichtung ist, falls Alles luftdicht schließt, so empfindlich, daß schon ein Steigen der Flüssigkeit eintritt, sobald man das Glas mit zwei Fingern berührt, und die Flüssigkeit oben aus der Röhre überläuft, sobald die Sonnenstrahlen das Glas treffen.

Fig. 441.



Versuch c. Wenn man eine Blase, in der nur wenig Luft sich befindet, dicht zubindet und auf den geheizten Ofen legt oder über Kohlenfeuer hält, so schwillt sie wegen der Ausdehnung der warm werdenden Luft ebenso an, als wenn man hineingeblasen hätte.

So dehnt sich auch die Kohlensäure in den Bierflaschen aus, wenn man sie in ein warmes Zimmer bringt und wirft die Pfropfen ab. Wenn völlig trockne Holzstücke ans Feuer gelegt werden, so dehnt sich die in den Zellen des Holzes enthaltene Luft aus, durchbricht dieselben knisternd und schleudert Theilchen davon hinweg.

Für alle Arten von Körpern gilt daher das allgemeine

Gesetz, daß durch die Wärme alle Körper ausgedehnt werden, beim Erkalten aber sich zusammenziehen.

§. 351. Das Thermometer nach Reaumür.

Auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht die Einrichtung des Thermometers*). Da eine stärkere Erwärmung eine stärkere Ausdehnung zur Folge hat, so läßt sich nach dem Grade der von uns beobachteten Ausdehnung der Grad der Wärme, nach der Wirkung die Ursache, beurtheilen. Ist durch die Wärme der Luft eine Menge Quecksilber in hohem Grade ausgedehnt worden, so muß, weil dies nur durch einen hohen Grad von Wärme geschehen kann, die Luft einen hohen Wärmegrad besitzen.

Das Thermometer besteht aus drei Stücken, aus der Thermometerröhre, dem Quecksilber und der Gradeintheilung oder Scala. Die Thermometerröhre ist eine enge, überall gleich weite Glasröhre, die sich unten zu einer hohlen Kugel erweitert. Die Röhre ist sammt der Kugel überall verschlossen. Das Quecksilber ist auf folgende Weise in das Instrument eingebracht. Man schmelzt oben an die Röhre, während diese

*) Das Wort „Thermometer" ist gebildet aus den griechischen Wörtern thermòs, warm, und métron, Maß, und bedeutet „Wärmemesser".

noch offen ist, einen kleinen Glastrichter und füllt denselben mit Qu
silber. Dann erhitzt man die Kugel der Thermometerröhre über
Spirituslampe; ein Theil der sich ausdehnenden Luft entweicht, und
Erkalten der Kugel sinkt Quecksilber in dieselbe. Doch bleibt noch L
der Kugel zurück. Um auch diese zu entfernen, wird die Kugel so
daß das Quecksilber ins Kochen geräth; durch die Quecksilberdämpfe
alle Luft aus der Röhre vertrieben. Nach der Abkühlung füllt das Qu
silber die ganze Röhre und die Kugel. Nun schmelzt man den Trichter
und erwärmt die Kugel, bis das sich ausdehnende Quecksilber aus der R
zu fließen beginnt; in diesem Augenblick schmelzt man die Oeffnung der R
mit Hülfe einer Gebläselampe zu. Die Thermometerröhre
nunmehr überall verschlossen und gegen die atmosphär
Luft abgesperrt; sie ist luftleer und enthält nichts, als Qu
silber, nach dessen Ausdehnung die Wärme gemessen wer
soll. Das Quecksilber ist zu diesem Behuf deshalb
übrigen Flüssigkeiten vorzuziehen, weil es für das Zuneh
oder Abnehmen der Wärme sehr empfindlich ist, sich durch
regelmäßig ausdehnt und bei den gewöhnlich vorkommen
Wärmegraden weder kocht, noch gefriert.

Fig. 442.

Um die Ausdehnung des Quecksilbers zu messen,
neben der Thermometerröhre eine Gradeintheilung
Scala angebracht, bei deren Anfertigung man, damit
Angaben der Thermometer unter einander übereinstim
folgendes Verfahren einschlägt: Man taucht die Thermome
kugel und die Röhre, soweit das Quecksilber reicht, zuerst
fein gestoßenes, schmelzendes Eis; das Quecksilber
und der Punkt, bis zu welchem es reicht, wird auf der R
mit einem Diamant bezeichnet. Der so bestimmte P
führt den Namen Eispunkt oder Gefrierpunkt. Hier
bringt man das Instrument in siedendes Wasser oder
in die Dämpfe dicht über siedendem Wasser und
zeichnet auf der Röhre die Stelle, bis zu der das Quecksil
steigt; dieser zweite Punkt heißt der Siedepunkt. Der
stand der beiden festen Punkte, der sogenannte Fundamen
abstand, wird gemessen und auf Papier, Holz oder G
aufgetragen. Neben den Eispunkt schreibt man die Ziffer 0
neben den Siedepunkt 80 und theilt den Abstand zwischen beiden in
gleiche Theile, welche Grade genannt werden. Weil das Quecksilber
größerer Kälte, als der des schmelzenden Eises, sich noch weiter zusamm
zieht, trägt man auch unterhalb des Eispunktes ebenso große Grade
und befestigt die Gradeintheilung neben der Thermometerröhre. Alle
verfertigten Thermometer stimmen mit einander überein und geben b
gleicher Wärme eine gleiche Anzahl von Graden an; doch sind die Gr
zweier Thermometer keineswegs gleich lang. Die Grade über dem Ei
punkt nennt man Wärmegrade und bezeichnet sie mit dem Pluszeichen
die Grade geringer Wärme, die unter dem Eispunkte liegen, heißen

:n Kältegrade und werden durch das Minuszeichen — unterschieden.
; die Grade eines Quecksilberthermometers mit der von Reaumür an-
:benen Scala gemeint sind, das in Deutschland am meisten in Gebrauch
giebt man durch Hinzufügen des Buchstaben R zu erkennen. + 3⁰R.
:t daher: 3 Grad Wärme nach Reaumür, und — 3⁰R. bedeutet
Grad Kälte nach Reaumür.

§. 352. Gebrauch des Thermometers.

Versuch a. Hält man die innere Fläche der trockenen Hand an die
zel eines Thermometers, so nimmt das Quecksilber bald die Temperatur
c den Wärmegrad der Hand an und steigt, zuerst schnell, dann lang-
er, bis es auf + **29** Grad R. stehen bleibt. Dies ist die Blut-
rme des menschlichen Körpers.

Versuch b. In einem geheizten Zimmer hänge man das Thermo-
er weder dem Ofen, noch dem Fenster zu nahe auf; es nimmt die
nperatur der Luft in dem Zimmer an, die im Winter zweckmäßig auf
oder **15** Grad Wärme erhalten wird.

Versuch c. Wie sehr unser Gefühl bei Beurtheilung des Wärme-
des irren kann, lehrt die Erfahrung, daß die Luft eines Kellers uns
Sommer kühl, im Winter ziemlich warm vorkommt. Begiebt man
im Sommer und im Winter mit einem Thermometer in die Räume
es gut gebauten Kellers, so wird man seine Temperatur in beiden
hreszeiten fast gleich, ungefähr von 9 Grad Wärme, finden.

Versuch d. Zur Beobachtung der Lufttemperatur im Freien hängt
n das Thermometer an der Außenseite des Hauses, und zwar an der
hattenseite, auf. Bei gewöhnlicher Winterkälte haben wir 5 bis
Grad unter Null, bei gewöhnlicher Sommerwärme 15 bis 20 Grad
irme.

Versuch e. Um die Temperatur des Wassers, z. B. des frischen
unnenwassers, zu ermitteln, taucht man die Kugel des Thermometers
dasselbe. Am geeignetsten ist dazu ein Thermometer, das von einer
asröhre umschlossen ist, innerhalb deren sich die Scala befindet, ein
ıdethermometer, das man zu zwei Mark von den Mechanikern er-
:t. Wasser gefriert bei 0 Grad und siedet bei 80 Grad R.

Unentbehrlich ist das Thermometer zur Beobachtung der atmosphä-
chen Wärme und ist von Naturforschern auf die Gipfel der Berge
d bis zu den in Luftballons erreichten Höhen mitgenommen worden.
:r Kunstgärtner regulirt mit Hülfe des Thermometers die Temperatur
s Gewächshauses, der Arzt die des Bades und des Krankenzimmers,
: Seidenbauer die Wärme der Zimmer für seine Seidenraupen, der
:erbrauer die Hitze des trocknenden Malzes.

§. 353. Geschichte des Thermometers.

Die Erfindung des Thermometers wird einem Holländer, Cornelius
rebbel, zugeschrieben, der die Söhne des deutschen Kaisers Ferdinand II.

erzog und als Arzt und Naturforscher an den Höfen Englands und
lands hoch geehrt ward. Sein gegen das Jahr 1638 erfundener
messer war keineswegs ein Quecksilberthermometer, sondern ein
thermometer. Er nahm eine sich oben zu einer ziemlich groß
erweiternde Glasröhre, die unten nicht verschlossen war, verdünn
Erwärmung die darin befindliche Luft und stellte dann das unter
Ende in ein Gefäß mit gefärbtem Wasser. Beim Abkühlen d

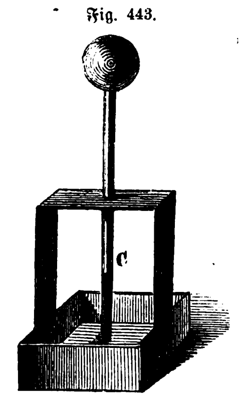


Fig. 443.

richtung stieg die Flüssigkeit wegen des Dr
atmosphärischen Luft etwa bis zur Mitte der
Fielen nun die Sonnenstrahlen auf die Kug
berührte man sie mit der Hand, so dehnte
Luft darin aus und drängte das Wasser
nahm dagegen die Wärme der Luft in der K
so nahm sie einen kleineren Raum ein, u
Wasser stieg. Vorzüglich benutzten die Aerz
Instrument, um die Hitze der Kranken zu
allein es war schon darum unvollkommen, w
Steigen und Fallen des Wassers auch vo
Druck der atmosphärischen Luft abhing,
konnte geschehen, daß die Wärme zunah
Wasser aber nicht hinabsank, weil gleichzeit
der atmosphärische Druck größer wurde.

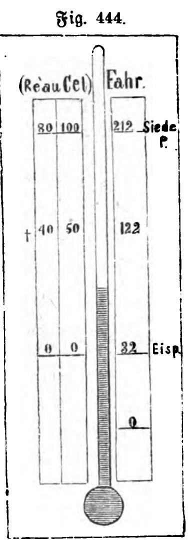
Diesem Uebelstande halfen die Mitglieder der Akademie zu F
ab, indem sie das Thermometer überall verschlossen. Sie nahm
unten mit einer Kugel versehene Glasröhre, füllten sie mit rothem
geist, trieben durch Erhitzung alle Luft heraus und schmelzten der
Röhre zu. In dem Florentiner Thermometer, das seiner äußeren
nach die Grundform unserer Thermometer geworden ist, wurde der
geist allein durch die Wärme ausgedehnt, und die Scalen der zu F
gefertigten Thermometer machte man übereinstimmend, indem m
eines Normalthermometers zu Grunde legte, es sammt anderen de
Temperatur aussetzte und auf diesen die von dem Normalther
angegebene Anzahl Grade verzeichnete.

Da indessen die Ausdehnung des Weingeistes nicht durchaus
mäßig ist, da er schon früher siedet, als Wasser, und nur für
Wärmegrade brauchbar wäre, füllte Fahrenheit, ein Mechanik
Danzig, das Thermometer mit Quecksilber. Zugleich führte
festen Punkte ein, ging aber bei seiner Gradeintheilung von
unter der Temperatur des schmelzenden Eises liegenden Wärmegrad
Den mittleren Kältegrad des Winters von 1709 wußte er durch
künstliche Mischung von Schnee und Salmiak immer wieder her
bringen, betrachtete diesen künstlichen Eispunkt als den tiefst
gewöhnlich vorkommenden Grade und bezeichnete ihn mit Null. Vo
bis zum Siedepunkte des Wassers zählte er 212 Grade, so daß
Wasser bei 212 Grad Fahrenheit kocht. Bald fand er, daß auc
Schmelzen des Eises stets bei derselben Wärme, bei 32 Grad

mometers eintrete, tauchte fortan seine Thermometer in schmelzendes und siedendes Wasser, behielt aber seine Scala bei, in welcher beim :lichen Eispunkt 32 Grad Wärme verzeichnet ist.

Reaumür's Verbesserung war ein Rückschritt, sofern er zur Füllung Thermometers mit Wasser gemischten Weingeist verwandte. Weil nd Theile dieser Mischung vom Eispunkte bis zum Siedepunkte sich ısdehnen, daß sie den Raum von 1080 Theilen erfüllen, theilte er Fundamentalabstand in 80 Grade und bezeichnete Eispunkt mit Null. Diese Scala, welche von Ausdehnung des Weingeistes hergenommen ist, hat bei uns beibehalten, obwohl man bewogen ward, Füllung mit Weingeist aufzugeben und zum Queck- r zurückzukehren. Die Anzahl der Grade zwischen Eis- und dem Siedepunkt ist daher ziemlich will- ch; außer der Eintheilung von Fahrenheit in — 32 = 180 und von Reaumür in 80 Grade, die von dem schwedischen Naturforscher Celsius :gebene Centesimaleintheilung in 100 Grade weit reitet. Um diese drei Scalen auf einander zurückzu- en, ist zu bedenken, daß 80^0 R. = 100^0 C. = 180^0 F. und folglich 4^0 R. ebenso viel betragen, als 5^0 C. oder '. Es ist daher 1^0 R. = $^5/_4{}^0$ C. = $^9/_4{}^0$ F. Ferner ^{0} C. = $^4/_5{}^0$ R. = $^9/_5{}^0$ F. Endlich ist 1^0 F. = $^4/_9{}^0$ R. $^5/_9{}^0$ C. Wenn man Fahrenheit'sche Grade in andere verwandeln hat, so muß man sie zuerst auf den öhnlichen Eispunkt zurückführen und bei Wärme- den 32 abziehen, bei Kältegraden 32 zuzählen, weil renheit bei dem natürlichen Eispunkt schon 32 Grad Wärme zählt. Findet ı die Angabe „+ 50^0 F.", so sind darin noch 32 Fahrenheit'sche Grade unter : natürlichen Eispunkt, über demselben liegen nur 50 — 32 = 18^0 F. nun 1 Grad F. $^4/_9$ Grad R. gleichkommt, sind 18 Fahrenheit'sche Grade ch $^4/_9 \times 18 = 8$ Grad R. Folglich bedeutet + 50^0 F. dasselbe, wie 8^0 R.

Fig. 444.

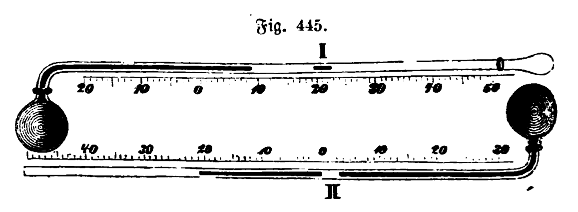


Thermometer und Barometer. Barometer (§. 115) und Thermo- er, die beiden am meisten gebrauchten physikalischen Instrumente, haben : unverkennbare Aehnlichkeit. Beide bestehen aus Glasröhren, sind mit :r Flüssigkeit gefüllt, über derselben luftleer und mit Eintheilungen ver- :n. Folgendes sind ihre Hauptunterschiede: 1) Das Barometer dient n Messen des Luftdrucks, das Thermometer zum Messen der Wärme, :ch welche das Quecksilber ausgedehnt wird.*) 2) Die Kugel des

*) Die Wärme wirkt auch auf das Quecksilber im Barometer ein. Bei :ehmender Wärme dehnt sich die Quecksilbersäule aus, bei abnehmender Wärme jt sich die Quecksilbersäule zusammen. Bei genaueren Beobachtungen muß auf jen Einfluß der Wärme Rücksicht genommen werden. Man pflegt den Barometer- nd auf Null Grad zu reduciren, d. h., man berechnet aus der beobachteten ıge der Quecksilbersäule im Barometer und aus der Temperatur, welche Länge

Barometers muß offen sein, damit die atmosphärische Luft auf das ... silber drücken könne; das Thermometer dagegen muß überall versch... sein, damit der Luftdruck nicht mitwirke. 3) Die Eintheilung oder ... des Barometers giebt entweder Mm. oder Zolle und Linien ... von ihr ist insgemein nur das oberste Stück vorhanden. Die ... Thermometers giebt Grade an, deren Länge sich nach der Gr... Fundamentalabstandes richtet und daher bei verschiedenen Therm... verschieden ausfällt. 4) Das Barometer hat eine ganz bestimmte ... weil die Höhe der Quecksilbersäule eine bestimmte Anzahl von M... trägt; die Thermometer aber haben ungleiche Länge, weil die ... des Fundamentalabstandes desto größer wird, je größer man die ... und je enger man die Röhre arbeitet. 5) Das Barometer muß ... Beobachtungen lothrechte Stellung haben; dem Thermometer kann ... auch eine geneigte oder wagerechte Stellung geben.

Fig. 445.



Maximum- und Minimum-Thermometer. Bei Wetterbeobach... ist es oft wünschenswerth, den höchsten Wärmegrad zu wissen, ... Luft am Tage erreicht hat, und den niedrigsten, bis zu dem die ... ratur in der Nacht gesunken ist, ohne daß man nöthig hat, oft ... Thermometer zu sehen. Solche Thermometer, die selber den höch... den niedrigsten Wärmegrad innerhalb eines Zeitraumes, etwa eines ... registriren, sind das Maximum- und das Minimum-Thermometer. ... in der Figur abgebildete Maximum-Thermometer für den ... Wärmegrad enthält in dem luftleeren Raum, rechts vom Quecksilb... Eisenstäbchen I; steigend schiebt das Quecksilber dasselbe vor ... und nimmt es nicht mit zurück, das Eisenstäbchen bleibt auf dem ...

---

die Quecksilbersäule bei Null Grad haben würde. Es dehnt sich die Quecksil... aus für jeden Grad C. um $1/_{5550}$ ihrer Länge, für jeden Grad R. um ... Länge. Hat man bei einer Temperatur von + 15° C. den Barometer... 750 Mm. beobachtet, so beträgt die Länge der Quecksilbersäule 750 Mm ... + 1° C. hat diese Säule sich um $1/_{5550} \times 750$ Mm. verlängert, für + 15 ... $15 \times 1/_{5550} \times 750$ oder ungefähr um 2 Mm. Bei Null Grad würde die ... silbersäule nur 750 — 2 = 748 Mm. lang sein. 748 Mm. ist daher der ... reducirte Barometerstand. Nehmen wir dagegen an, man beobachte ... Barometerstand, 750 Mm., bei 15° Kälte C., so hat die niedrige Tem... bewirkt, daß die Quecksilbersäule um 2 Mm. kürzer ist, als bei Null Grad ... auf Null reducirte Barometerstand ist dann 750 + 2 = 752 Mm. ... Einfluß der Wärme erklärt es sich, daß zwei in derselben Straße an... Barometer nicht übereinstimmende Angaben machen, wenn das eine ... geheizten, das andere in einem ungeheizten Raum sich befindet.

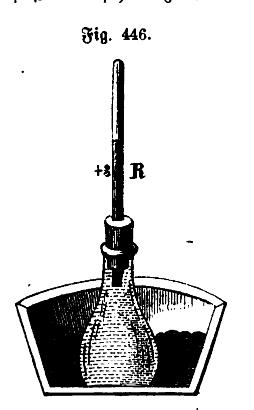
reichten Wärmegrad liegen, auch wenn das Quecksilber sich zusammenzieht. Das Minimum-Thermometer ist mit Weingeist gefüllt, enthält innerhalb der Flüssigkeit ein hohles Glasstäbchen II und beruht darauf, daß (§. 75) die Cohäsion einer tropfbaren Flüssigkeit an der Oberfläche stärker ist, als im Innern derselben. Wenn beim Sinken der Temperatur der Weingeist sich zusammenzieht, nimmt er, ohne daß seine Oberfläche zerreißt, das Glasstäbchen mit sich zurück; auf dem niedrigsten Stand bleibt es liegen; steigt der Weingeist, so kann er, weil der Zusammenhang seiner inneren Theile zu schwach ist, das Glasstäbchen nicht bewegen. Vor dem Gebrauch werden beide Thermometer einen Augenblick in senkrechte Stellung gebracht; beim Gebrauch haben sie wagerechte Lage.

§. 354. Die für unser Klima wichtige Ausdehnung des Wassers durch Kälte.

Von dem allgemeinen Gesetz, daß die Körper durch die Wärme ausgedehnt werden und beim Erkalten sich zusammenziehen, macht das Wasser eine Ausnahme.

Versuch a. Ein ganz mit Wasser gefülltes und oben mit einer darauf gesetzten Röhre versehenes Kochfläschchen oder Probirglas, wie es für §. 349 vorgerichtet wurde, stelle man in ein Gefäß mit schmelzendem Schnee. Zuerst sinkt das Wasser in der Röhre, in Folge der eintretenden Abkühlung, ganz dem allgemeinen Gesetz gemäß; man schiebt der sinkenden Wasseroberfläche den um die Röhre gebundenen Faden nach und bezeichnet dadurch den tiefsten Stand. Bei weiterer Abkühlung beginnt aber das Wasser wieder zu steigen und dehnt sich fortwährend aus. Ebenso erfolgt die Ausdehnung, wenn man bei dem tiefsten Stande des Wassers die Flasche aus dem Schnee hebt und in die erwärmende Hand nimmt. Es giebt also für das Wasser eine bestimmte Temperatur, bei der es den kleinsten Raum einnimmt und deshalb das größte Gewicht hat, und es wird dann ebenso sehr durch Erkaltung, als durch Erwärmung ausgedehnt.

Fig. 446.



Diese Temperatur wird gefunden, indem man bei Anstellung des Versuchs durch eine zweite Bohrung des Korks ein Thermometer schiebt. Wasser ist bei 3,2 Grad Wärme R. (bei + 4° C.) am dichtesten und folglich auch am schwersten.

Versuch b. Ein Medicinglas wird ganz mit Wasser gefüllt, vorsichtig verkorkt und während der Nacht der Winterkälte ausgesetzt. Man findet am Morgen das Glas gesprengt und das gefrorene Wasser in einen Eiskörper verwandelt, der weit größer ist, als der Raum in dem Glase. — Wegen der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren

findet man Glas- oder Porzellangefäße, wenn sie, auch nur zum
mit Wasser gefüllt, über Nacht in sehr kalten Küchen gestanden ha
gesprengt. Selbst eiserne Bomben, die mit Wasser gefüllt sind, zerpl
beim Gefrieren desselben; Felsen, in deren Spalten sich Eis bildet, we
auseinander gerissen; Straßenpflaster, unter welches Wasser gedru
ist, wird durch den Frost gehoben, und Bäume bersten, wenn in
strengen Wintern ihr Saft erstarrt. Wegen dieser Ausdehnung ist
leichter, als Wasser, und schwimmt auf demselben.

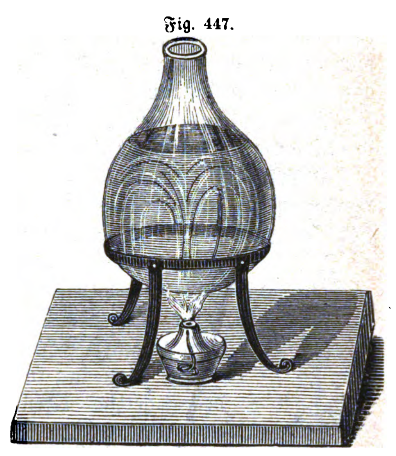
Die Kenntniß dieser Ausnahme von dem allgemeinen Ausdehnu
gesetz läßt uns einen Blick in die tiefe Weisheit thun, mit welcher in
irdischen Körperwelt nicht bloß ihre Gesetze, sondern auch die Ausnah
von den Gesetzen geordnet sind. Unsere Gewässer kühlen sich bei
tretendem Winter hauptsächlich an der Oberfläche ab, die von kalten
strömungen berührt wird. In stehenden Gewässern, Teichen und
sinkt dann die oberste, abgekühlte und schwerer gewordene Wasserschi
Boden. Wärmeres Wasser steigt an ihre Stelle empor, wird eben
abgekühlt und sinkt wieder hinab. Dieses Auf- und Absteigen des Was
würde fortdauern, wenn das Wasser durch die Kälte immer dichter
schwerer würde, und wenige kalte Tage würden hinreichen, um un
Gewässer von Grund aus in Eis zu verwandeln. Meere und
würden in einem einzigen Winter zu massivem Eis erstarren, und
die stärkste Sonnenhitze wäre nicht im Stande, die gewaltigen Eisma
wieder zu schmelzen. Die gemäßigten Zonen würden wegen ihres sibiri
Klimas kaum bewohnbar bleiben, und das Leben der Erde sich auf
schmalen Gürtel zu beiden Seiten des Aequators zurückziehen. So
hört ausnahmsweise die Zusammenziehung des Wassers, und darum
seine Circulation (sein Auf- und Niedersteigen), auf, sobald
Temperatur bis auf 3,2 Grad Wärme R. gesunken ist. Hat die ga
Wassermasse nur noch 3,2 Grad Wärme, so hat sie die größte Dichtigk
die oberste Wasserschicht wird durch fernere Abkühlung leichter, bleibt
schweben und gefriert endlich zu Eis. Die Eisdecke aber hindert
Eindringen der Kälte in die tieferen Wasserschichten.

Anders ist der Vorgang der Eisbildung in fließenden Gewässe
In den Flüssen werden durch die starke Strömung fortwährend die Wa
schichten unter einander gemischt, und die ganze Wassermasse bis
Gefrierpunkt abgekühlt. Die Eisbildung, die stets von festen Punkten
ihren Anfang nimmt, beginnt alsdann an den Ufern, an Felsen, Pfäh
und auf dem Grunde des Flusses, wo die Strömung schwächer
Die auf dem Grunde entstandenen Eisschollen werden, je größer sie
worden, ihres geringeren specifischen Gewichts wegen immer stärker
Wasser emporgehoben und endlich losgerissen und hinauf an die Ob
fläche geführt. Man sagt dann, der Strom treibe Grundeis.
anhaftende Steine und Erde verräth es den Ort seiner Entstehung, du
seine Anhäufung hindert es die Strömung, die Zwischenstellen zwischen
Schollen an der Oberfläche frieren zu, und es bildet sich eine zusamm
hängende Eisdecke, die dem ferneren Eindringen des Frostes ein Hinderniß

§. 355. Die Circulation des Wassers und die Wasserheizung.

Versuch. In einer nicht zu kleinen Kochflasche werde Wasser, in das nan Sägespäne oder fein gestoßenen Siegellack gestreut hat, über der Spirituslampe erwärmt. Die Kochflasche)alte man oben mit der Hand und)ringe die Mitte ihres Bodens der Flamme näher und näher. Beobachtet nan dabei das Wasser genau, so nimmt nan eine Bewegung der Holzspäne vahr, die sammt dem Wasser über der Lampe emporsteigen und an den Seiten sich abwärts bewegen. Die wärmer ınd leichter gewordenen Theilchen der Flüssigkeit steigen sonach aufwärts, die ıoch kälteren und schwereren sinken ıinab, und dadurch wird eine Kreisbe= oegung oder Circulation der Flüs= igkeit bewirkt, welche die Erwärmung er ganzen Wassermasse herbeiführt,)enn das Feuer unter derselben ange= racht ist.

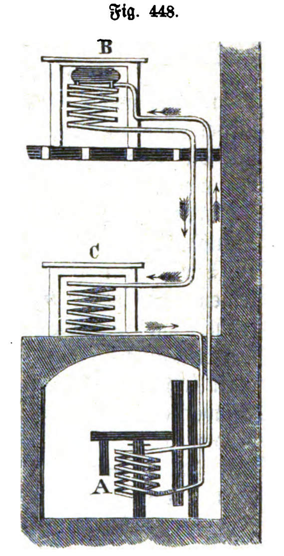
Fig. 447.



Hat man nur eine kleine Kochflasche oder einen 3robircylinder, so sieht man das Wasser an der ınen Wand aufsteigen, an der andern hinabsinken.

Eine Anwendung von der Circulation des Bassers ist die Heizung mit warmem Wasser, ie in England häufig gefunden wird. In dem :rdgeschoß des Gebäudes ist der ringsum ver= hlossene Kessel A aufgestellt, welcher durch eine)iralförmig gewundene kupferne Röhre gebildet ird, und in welchem das Wasser erwärmt wird. :us dem oberen Theile desselben führt eine weite töhre lothrecht hinauf zu den oberen Stock= erken, und von hier wird eine Röhre abwärts ɛführt und mündet in den unteren Theil des 'essels. Diese abwärts führende Röhre wird ır Heizung der Zimmer verwendet, indem sie ırin spiralförmige Röhrenleitungen B und C ildet, die mit einem metallenen Mantel um= ɛben sind. Das Ganze wird durch die obere)effnung bei B mit Wasser gefüllt. Sobald das Basser im Kessel erwärmt wird, steigt es in der Hauptröhre empor, während ıs der andern, hinabführenden Röhre kälteres Wasser in den Kessel dringt;)n der Hauptröhre aus aber strömt die erwärmte Flüssigkeit durch die piralen und heizt die von ihnen durchzogenen Räume.

Fig. 448.



§. 356. Das Emporsteigen der erwärmten Luft.

Versuch a. Einen schmalen, 5 Cm. langen Streifen Goldsch[illegible] klebe man, um ihn bequem in der Hand halten zu können, mit [illegible] einen Ende an einen Streifen Schreibpapier und bringe ihn über [illegible] Flamme eines angezündeten Lichtes, so daß der Streifen in der Entfern[illegible] einer Handbreite darüber schwebt. Er wird plötzlich emporflattern, em[illegible] gerissen durch die ausgedehnte und leichter gewordene Luft, welche [illegible] der Flamme emporsteigt. Dasselbe geschieht, wenn man im Winter [illegible] Goldschaumstreifen dicht an den oberen Theil eines geheizten Ofens [illegible]

Versuch b. Aus dünnem Briefpapier werde ein kreisrundes Stück [illegible] mit einem Durchmesser von 3 Cm. geschnitten und zu einem spiralförm[illegible] Streifen zerschnitten. Man setzt die Scheere am Rande an, schneide[illegible] einer Spirallinie mehrmals um den Mittelpunkt herum [illegible] läßt am Mittelpunkt selbst ein kleines Scheibchen [illegible] Faßt man den Streifen an demselben, so hängt er in [illegible] Gestalt einer Schlange mit mehreren Windungen hinab [illegible] bringt man ihn so über eine Lichtflamme oder in die [illegible] des geheizten Ofens, so hebt die emporströmende [illegible] Luft das untere Ende der Schlange empor; wegen [illegible] Schwere senkt es sich wieder, wird wieder gehoben [illegible] tanzt auf diese Weise auf und ab. Dieselbe Ersche[illegible] erhält man, wenn man die Schlange mit ihrem Kor[illegible] auf eine Stricknadel steckt, die unten in ein Brettchen [illegible] einen Kork befestigt ist. Legt man den Kopf der Sch[illegible] so auf das obere Ende der Nadel, daß er darauf schwebt, so verset[illegible] aufsteigende Luftstrom die Schlange in eine drehende Bewegung, äh[illegible] wie die Windmühlenflügel durch den Wind in drehende Bewegung [illegible] setzt werden (§. 39).

Fig. 449.

Wenn die Sonnenstrahlen in ein vor Kurzem gereinigtes, noch [illegible] Staub erfülltes Zimmer fallen, so sieht man die durch die Son[illegible] strahlen erwärmten Lufttheilchen sammt dem Staube [illegible] steigen; in jedem geheizten Zimmer befindet sich die wärmere [illegible] oben, wie sich schon durch das Gefühl wahrnehmen läßt, und auf [illegible] oberen Gallerie eines Schauspielhauses ist es unerträglich heiß. [illegible] setzen sich die Fliegen an die Decke des Zimmers, wenn es anfäng[illegible] zu werden. Die eine Art der Luftballons, die Montgolfi[illegible] werden dadurch zum Steigen gebracht, daß man die in ihnen enth[illegible] Luft durch darunter angezündetes Feuer erwärmt und leichter [illegible] §. 239 und folg.

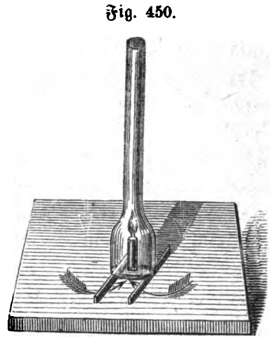
§. 357. Luftzug und Luftheizung.

Versuch a. Ueber ein brennendes kurzes Licht stelle man [illegible] Lampencylinder, der auf zwei Holzstäbchen ruht, damit die Luft [illegible] habe. Untersucht man nun mit einem Goldschaumblättchen oder [illegible]

tauch eines glimmenden Wachsstocks, welchen Weg die Luft in der Nähe
es Cylinders nimmt, so wird man finden, daß sie unten in den Cylinder
inströmt.

Die durch den Cylinder zusammengehaltene
wärmte Luft bildet eine Luftsäule von desto
eringerem Gewicht, je mehr sie erhitzt und aus=
edehnt ist. Ringsum aber ist der Cylinder ein=
ehüllt von einer Luftsäule, die mit ihm gleich
och ist, jedoch, weil sie eine niedrigere Temperatur
esitzt, ein größeres Gewicht hat. Diese äußere
uftsäule übt wegen der allseitigen Fortpflanzung
es Luftdrucks einen Druck gegen die unten in
em Cylinder befindliche Luft aus, strömt unten
n und treibt die erwärmte Luftsäule in die Höhe.
e höher der Cylinder ist, desto höher ist auch
e äußere Luftsäule, deren Uebergewicht den Luft=
ug bewirkt; desto lebhafter ist folglich der Luftzug, die Verbrennung und
as Licht der Lampe.

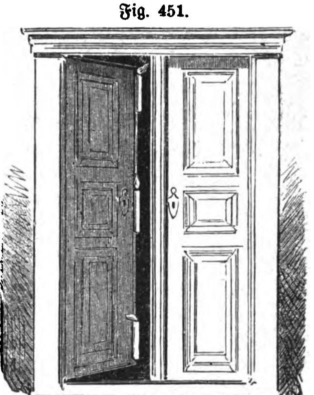
Fig. 450.



Ganz auf dieselbe Weise wird der Luftzug in den Schornsteinen
ervorgebracht. In Fabriken, die ein bedeutendes, starken Zug erfordern=
es Feuer nöthig haben, baut man hohe Schornsteine, weil dadurch die
irkende äußere Luftsäule höher und deshalb ihr Uebergewicht größer
ird; eine allzugroße Höhe aber führt den Nachtheil herbei, daß die auf=
eigende Luftsäule sich oben zu sehr abkühlt. Die Schornsteine älterer
ebäude sind zu weit und bringen nicht den hinreichenden Zug hervor,
eil die große, von ihnen umschlossene Luftmasse nur schwach erwärmt
ird, und ihre Temperatur die der äußeren Luft nur wenig übertrifft.
st dagegen ein Schornstein zu eng, so ist die durch ihn ziehende Luft=
asse nicht hinreichend zur Unterhaltung des Feuers.

Versuch b. Wenn man im Winter die
hür eines geheizten Zimmers offen stehen
ßt, so fühlt man einen kalten Luftzug
ı den Füßen, verursacht durch die nahe
em Fußboden von außen einströmende kalte
uft. Hält man ein brennendes Licht (oder
nen Streifen Goldschaum) unten nahe dem
ußboden an eine geöffnete Thür, welche
us einem kalten in ein geheiztes Zimmer
hrt, so wird die Flamme durch die ein=
ingende kalte Luftströmung nach dem warmen
immer hineingeweht. Bringt man da=
egen das Licht oben in die Thüröffnung,
wird die Flamme dort aus dem warmen
immer hinausgeweht und zeigt dadurch
ı, daß die warme Luft des Zimmers oben ausströmt. Vermöge ihres
ebergewichtes tritt die kalte Luft unten in den erwärmten Raum ein,

Fig. 451.



breitet sich bis zur gegenüber liegenden Wand aus und verdrängt einen Theil der erwärmten Zimmerluft, der emporgetrieben und Decke zum Zimmer hinausgeschoben wird. So entsteht ein Kreislauf Luft, die unten der erwärmten Stelle zuströmt und oben ihr hinwegzieht.

Eine Anwendung hat die Circulation der Luft schon seit Jahrhunderten bei der Luftheizung in großen Gebäuden gefunden. dem Keller ist ein mit doppelten Mauern umgebenes Zimmer, die kammer, erbaut, in welcher die Luft durch einen Ofen bedeutend wird. Während unten, über dem Fußboden, angebrachte Oeffnungen Heizkammer frische Luft zuführen, steigt die erwärmte Luft durch loth Wärmeröhren oder Canäle zu den oberen Stockwerken empor. Röhren haben über dem Fußboden der zu heizenden Zimmer offene Schiebern versehene Seitenröhren, aus denen man nach Belieben Luft in die Zimmer kann eintreten lassen. Dem Uebelstande, Luft der so geheizten Räume stark austrocknet und der Gesundheit theilig wird, hat man einigermaßen abzuhelfen versucht, indem man fäße mit Wasser in der Heizkammer aufstellt.

§. 358. Entstehung der Winde.

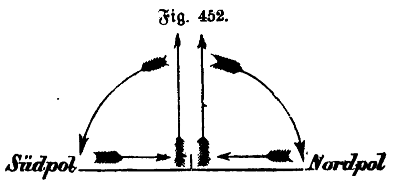
Wie diejenigen Luftströmungen entstehen, welche wir Luftzug so entstehen auch die umfangreicheren Luftströmungen, welche wir nennen. Ueber einer heißen Gegend des Erdbodens wird die Luft und steigt lothrecht empor; nahe der Erdoberfläche aber dringen kältere Luftströmungen an ihre Stelle. Die Winde entstehen durch ungleiche Erwärmung der Luft, die ihren Grund in gleichen Erwärmung der Erdoberfläche hat.

Sehr regelmäßig zeigen dies die **Land- und Seewinde,** die an fast allen Küstenstrecken der heißen Zone, an der Nordküste des meeres, an den Gestaden Englands und den Uferlandschaften großer nenseen wehen. Wenige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich schwache Luftströmung von der See nach dem Lande zu; dieser wächst, je höher die Sonne steigt, und erreicht nach zwei Uhr Nach seine größte Stärke. Das Land wird schneller durch die Sonnen erwärmt, die Luft über ihm steigt empor, und die kältere Seeluft als Seewind unten in die wärmere Landluft ein. Allmählich wird Seewind schwächer, und nach Sonnenuntergang tritt eine Windstille die Luftschichten über Land und Meer haben alsdann eine gleiche Wie aber das Land schneller warm wird, so wird es auch schneller gekühlt, und um Mitternacht zieht eine Luftströmung vom Lande der wärmeren See; der Landwind wächst im Verlauf der Nacht legt sich bald nach Sonnenaufgang.

§. 359. Die Circulation der ganzen Atmosphäre.

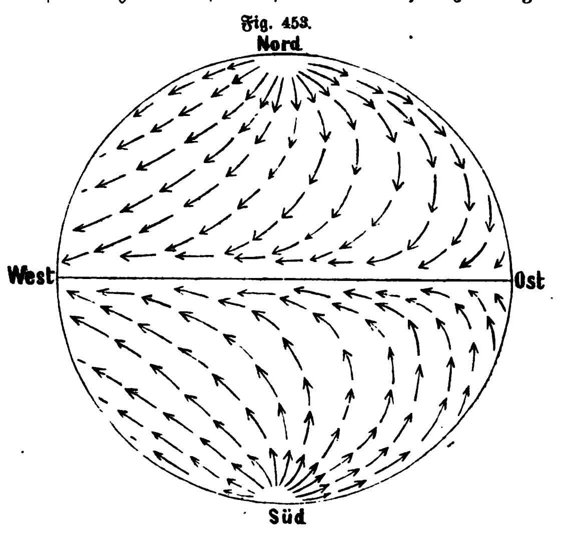
1. Die ganze Atmosphäre der Erde ist in einem beständigen Kreis-
uf begriffen; sowohl die **Passatwinde** oder Passagewinde, das heißt, die
gelmäßigen Winde, welche den Handelsschiffen die Passage von Europa
ch Amerika möglich machen, als auch die veränderlichen Winde unserer
egenden, werden durch denselben hervorgebracht. In der Mitte des Erd-
lls liegt eine Gegend, wo Wind und
etter gemacht werden für die ganze
rde, die Gegend der Windstillen
er Calmen. Die lothrecht auf-
llenden Sonnenstrahlen bewirken hier
ne so große Erwärmung der Atmo-
häre, daß sie fortwährend auf-

Fig. 452.



eigt und keinen Wind herrschend werden läßt, es müßte denn ein
turm sein, der plötzlich hereinbräche; und mit ihr steigt von den un-
meßlichen Flächen des atlantischen und des großen Oceans eine gewaltige
enge von Wasserdampf empor. Dafür dringen aber von den Polen,
n Norden und Süden her, kältere Luftströme nahe der Erd-
erfläche beständig dem Aequator zu. Dieser auf der nördlichen Halbkugel
m Nordpol, auf der
dlichen vom Südpol
mmende Luftstrom
ldet den einen Haupt-
ind der Erde. Er
eibt aber nicht ein
ordwind oder Süd-
ind, sondern trifft
e heiße Zone in einer
dern Richtung. Bei
r Umdrehung der
rde um ihre Axe
rchläuft jeder Punkt
s Aequators in einer
tunde einen Weg von
ehr als zweihundert
eilen. Während die
uft sich von dem Pole
ch dem Aequator be-

Fig. 453.



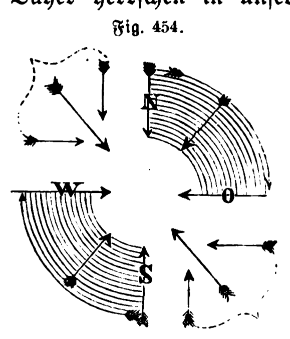
egt, gleitet die Erde unter ihr weg, und die in der Nähe des Aequators
egenden Punkte, welche die Luftströmung hätte treffen sollen, sind unter-
essen nach Osten geeilt. Der Wind trifft daher westlicher gelegene
unkte der heißen Zone, gelangt vom Nordpol nach Südwest und vom
üdpol nach Nordwest und erscheint darum im nördlichen Theil der
eißen Zone als Nordostwind, im südlichen als Südostwind. Beide
assate zeigen sich in ihrer vollen Regelmäßigkeit nur auf den großen

Meeren und in den großen Ebenen Südamerikas, wo sie weder durch die Land- und Seewinde eine Störung erfahren, noch durch Gebirge eine Aenderung ihrer Richtung erleiden.

2. Während die Passatwinde ihre Entstehung der niederen Luftströmung von den Polen her verdanken, fließt die in der heißen Zone emporgestiegene Luft in den höheren Regionen nach den Polen hin. Diese **obere Luftströmung** hat auf der nördlichen Halbkugel die Richtung nach dem Nordpol; zugleich aber hat sie eine schnelle Bewegung nach Osten, wie sie alle Gegenstände in den Gegenden des Aequators haben. Da sie nach Norden und nach Osten getrieben wird, bewegt sich die Luft nach Nordosten und erscheint als Südwestwind. Daher herrschen auf der Spitze des Pics von Teneriffa südwestliche Winde, während unten auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordostpassat herrschend ist; auf der westindischen Insel Barbados fiel im Jahre 1812, während der Nordostpassat wehte, ein Aschenregen nieder, von dem westlich gelegenen Vulcan der Insel St. Vincent durch die obere Luftströmung herübergetragen. Die obere Luftströmung vom Aequator her ist der zweite Hauptwind und dem ersten in seinen Eigenschaften entgegengesetzt. Die niedere Luftströmung von dem Nordpol her ist schwerer, kälter und trockner; der Himmel wird heiter, und das Barometer steigt. Die vom Süden, vom Aequator ausgehende Luftströmung ist leichter, wärmer und feuchter; das Barometer sinkt, und es bilden sich Wolken, Regen oder Schnee.

3. **Dove's Drehungsgesetz der veränderlichen Winde.** Indem die obere Luftströmung sich immer weiter vom Aequator entfernt, kühlt sie sich allmählich ab, senkt sich bis zur Erdoberfläche und geht fortan nicht mehr über der niederen Luftströmung, sondern neben derselben hin. Daher herrschen in unseren Gegenden nordöstliche und südwestliche Winde, je nachdem die niedere oder die ursprünglich höhere Luftströmung weht. Andere Richtungen des Windes entstehen dadurch, daß der eine Hauptstrom allmählich den andern verdrängt, und zwar dreht sich der Wind auf der nördlichen Halbkugel fast immer in der Richtung von Norden über Osten nach Süden und Westen. Diese Wahrheit heißt das Drehungsgesetz des Windes. Denken wir uns einen Ort in Deutschland, der gerade von der niederen Luftströmung getroffen wird. Es weht ein Nordwind, die Luft ist kalt, und der Himmel ist heiter; der Wind weicht mehr und mehr nach Osten ab, erscheint zuletzt ganz als ein Ostwind, der uns immer noch trockene Polarluft bringt. Der Ostwind weht so lange, bis er von einem anderen Winde abgelöst wird; es giebt aber keinen andern, als den vom Aequator her wehenden und sich herabsenkenden. Durch das Zusammentreffen beider wird ein Wind von mittlerer, südöstlicher Richtung hervorgebracht, in welchem die feuchte und immer noch wärmere Luft der oberen

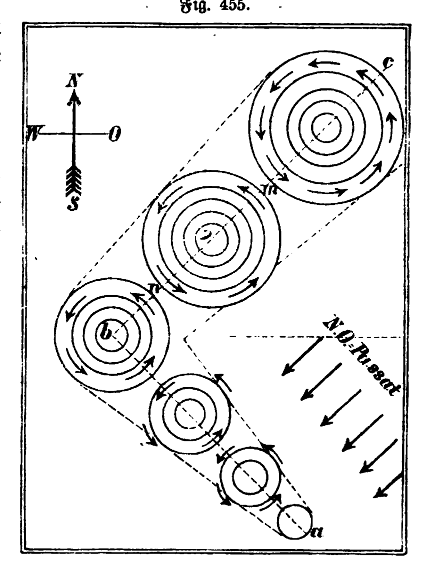
Fig. 454.



Strömung abgekühlt wird und durch Wolkenbildung, Schnee oder Regen inen Theil ihrer Wasserdämpfe verliert. Nach und nach wird die süd-iche Strömung herrschend, sie bringt helle, warme Tage, bis sie nach Besten abweicht. Sie kann wiederum nur durch die kältere Luft-trömung von dem Nordpol her abgelöst werden, deren Zusammentreffen nit der feuchten Luft einen Nordwestwind und kalte, feuchte Tage zur Folge hat.

4. **Das Gesetz der Stürme.** Dem Professor Dove zu Berlin ist es uch gelungen, das Gesetz der Stürme aufzufinden; er hat durch Zu-ammenstellung zahlreicher Beobachtungen nicht bloß festgestellt, daß die neisten Stürme Wirbelstürme oder Cyclonen sind, sondern auch ie Richtungen ermittelt, in denen sie sich drehen, und in denen sie fort-chreiten. Es entstehen die Wirbelstürme in der heißen Zone, nördlich nd südlich von der Gegend der Windstillen; sie werden von Blitz und Donner begleitet und üben verheerende Wirkungen aus. Indem sie fort-chreiten und schwächer werden, ge-angen sie weit in die gemäßigten Zonen hinein. Die sich drehende Luftsäule oder Cyclone hat anfänglich inen Durchmesser von 10 bis 50 eographischen Meilen; während des Fortschreitens nimmt sie an Umfang u und erreicht einen Durchmesser von 200 bis 300 Meilen. Die Richtung, n welcher die Cyclonen sich rehen, ist auf der nördlichen Halbkugel die von Süden über Osten nach Norden und Westen; uf der südlichen Halbkugel von Süden iber Westen nach Norden und Osten. In der Mitte des Wirbels, welche das Auge oder Centrum des Sturmes heißt, herrscht Windstille und ein tiefer Barometerstand. Die Luftströmung östlich vom Centrum ist der westlich vom Centrum entgegengesetzt; ebenso ist die Richtung des Sturmes nördlich vom Centrum entgegengesetzt seiner Richtung südlich vom Centrum. In der Cyclone nom weht bei m der Sturm us SO.; schreitet dieselbe in der Richtung nach c fort, so gelangt das Centrum o nach dem Orte m, und es tritt an demselben Windstille ein; schreitet die Cyclone weiter fort, so kommt n nach dem Orte m, der Sturm weht us NW. und ist in die entgegengesetzte Richtung umgeschlagen. Die Richtung, in welcher die Cyclonen fortschreiten, ist in der Gegend des Nordostpassats die nach NW., nördlich davon aber die nach NO. Ein im atlantischen Ocean bei a ausgebrochener Sturm schreitet daher nach NW. fort, biegt ungefähr bei b, der Südostspitze Nordamerikas

Fig. 455.



um und dringt dann nach c, nach NO. vor. Eine über der Cycl
lagernde und weit über dieselbe hinausreichende Sturmwolke kündigt
Eintreten des Sturmes von Weitem an. — Diese Thatsachen lassen
auf folgende Weise erklären. Es kommt (§. 318) nicht selten vor,
über den warmen Meeren der heißen Zone die untersten Luftschich
durch die Wärme beträchtlich ausgedehnt und **weniger dicht** sind,
die darüber befindlichen. Diese Lage der Luftschichten kann aber
von Dauer sein; bei der geringsten Ursache, etwa bei ausreichend stark
Wehen des Passatwindes steigen die untersten Luftschichten mit gro
Geschwindigkeit empor und lassen hinter sich einen luftverdünnten Ra
welcher das **Centrum** des Sturmes wird. Die Luftmassen rings
den luftverdünnten Raum strömen in denselben und werden in die
wegung nach oben mit fortgerissen. Bald strömen Luftmassen aus größ
Entfernung herbei; die von Süden kommenden werden auf unserer
kugel nach O. abgelenkt und stoßen in der Richtung nach NO. auf
südöstlichen Theil der aufsteigenden Luftsäule. Die von Norden kommende
Luftmassen werden nach W. abgelenkt und stoßen in der Richtung
SW. auf den nordwestlichen Theil der Luftsäule. Deshalb bewirken
von S. und N. her strömenden Luftmassen eine **Umdrehung** der
säule. In dem südöstlichen Theil der so entstandenen Cyclone weht
Nordostpassat ihrer Umdrehungsrichtung entgegen und verdichtet die
im nordwestlichen Theil der Cyclone vermehrt derselbe Wind die
schwindigkeit der Luft und verdünnt sie. Die verdichtete Luft drängt
Cyclone nach NW. und bewirkt ihr **Fortschreiten**. Wo der
nicht mehr weht, und es vorher windstill war, da bewirkt die von Nord
kommende schwerere und dichtere Luft, indem sie in dem südwestliche
Theil der Cyclone durch die von S. her strömende Luft aufgehalten wi
dort eine Verdichtung der Luft und ein Fortschreiten der Cyclone na
NO. Die **Sturmwolke**, die über der Cyclone liegt, entsteht, indem
bedeutenden Mengen Wasserdampf, die mit emporgestiegen sind, sich
der Höhe abkühlen und verdichten. Durch die Ermittelung und Be
obachtung der bei den Wirbelstürmen stattfindenden Erscheinungen
manches Schiff vor dem Untergange bewahrt, und manches Menschenleb
erhalten worden.

II. Die Aenderung des Aggregatzustandes durch die Wärme.

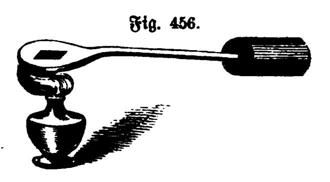
Das Schmelzen.

§. 360. Der Vorgang des Schmelzens.

Durch die Wärme werden die Körper ausgedehnt, und ihre Theilchen von einander entfernt. Je weiter aber die Körpertheilchen von einander abstehen, mit desto geringerer Kraft hängen sie zusammen. Daher wird durch die Wärme der gegenseitige Zusammenhang zwischen den Theilen eines Körpers vermindert oder ganz aufgelöst. Pflanzen- und Thierstoffe erleiden deshalb bei höherer Temperatur meistens eine Zerstörung und Zersetzung in ihre Bestandtheile; andere Körper gehen in einen anderen Aggregatzustand über, in welchem der Zusammenhang der Theile geringer ist, aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand. §. 75.

Versuch. In einen eisernen Blechlöffel, über dessen Stiel man als Handhabe einen Kork geschoben hat, werde ein Stückchen Blei oder Zinn gethan und über der Spirituslampe erhitzt. Es behält seine Gestalt noch eine Zeit lang, dann aber schmilzt es, d. h., es geht plötzlich aus dem festen Zustand in den flüssigen über. Läßt man das flüssige Metall sich hinreichend abkühlen, so kehrt es in den festen Zustand zurück und erstarrt.

Fig. 456.



Fast alle Metalle und das Eis schmelzen, ohne zuvor weich zu werden; Wachs, Butter, Fett, Eisen und Platin dagegen werden weich, ehe sie schmelzen.

Die Temperatur, bei der ein Körper schmilzt, heißt sein Schmelzpunkt. Eis, in einer Schüssel in ein geheiztes Zimmer gebracht, schmilzt, während ein Talg- oder Wachslicht durch dieselbe Stubenwärme noch nicht geschmolzen wird; über der Spirituslampe wird Wachs viel schneller flüssig, als Zinn oder Blei. Der Wärmegrad, bei dem das Schmelzen eintritt, ist daher für verschiedene Körper sehr verschieden. Schmilzt ein Körper schon bei einem niedrigen Wärmegrad, so heißt er leichtflüssig; schmilzt er erst bei hoher Temperatur, so nennt man ihn strengflüssig. Während das Eis schon bei 0, Talg bei ungefähr 30, und Wachs bei 50 Grad R. schmilzt, wird Zinn erst bei 185, Blei bei 270, Messing bei 700, Silber bei 800, Gold und Eisen sogar erst bei 1000 Grad flüssig. Dagegen schmelzen die Mischungen von Metallen viel leichter, als die einzelnen Metalle, und werden deshalb zum Löthen gebraucht, weil das Loth leichter schmelzen muß, als die Metalle, die durch seine Adhäsion an einander festgehalten werden sollen. Das Schnelloth der Klempner besteht aus zwei Theilen Zinn und einem Theil Blei und wird

noch leichtflüssiger durch einen Zusatz von Wismuth. Das nach sein.. Erfinder benannte Rose'sche Metallgemisch aus zwei Theilen Wism.. einem Theil Blei und einem Theil Zinn erfordert zum Schmelzen k.. die Siedehitze des Wassers und wird benutzt, um von Stereotypen, hölz.. nen Musterformen und Holzschnitten metallene Abdrücke für das Bedr.. von Papier oder Zeug zu gewinnen.

§. 361. Die gebundene Wärme eines tropfbarflüssigen Körper..

Versuch a. An einem kalten Wintertage fülle man eine Schü.. mit Schnee oder zerstoßenem Eis und stelle sie in die Nähe des warm.. Ofens. Taucht man ein Thermometer in den Schnee, so wird es, .. derselbe sehr kalt ist, zuerst mehrere Grad Kälte anzeigen. Allmäh.. aber erwärmt sich der Schnee, und das Thermometer steigt bis auf N.. Aber nun steigt es nicht höher, obwohl fortwährend vom Ofen her Wär.. in den Schnee eindringt und ihn schmelzt; während der ganzen Dau.. des Schmelzens bleibt es unbeweglich auf demselben Punkt stehen, und erst wenn das letzte Stückchen Schnee geschmolzen ist, st.. die Temperatur des flüssig gewordenen Körpers. Alle hinzukomme.. Wärme ist bis zu diesem Augenblick dazu verwandt, den festen Körp.. in einen flüssigen zu verwandeln, und hat nicht vermocht, seine Tem.. ratur zu erhöhen.

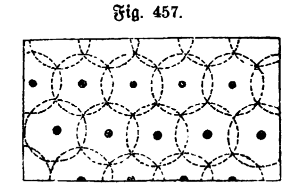
Versuch b. Man fülle zwei gleiche Töpfe, den einen mit ein.. Klgr. Wasser von Null Grad, den andern mit einem Klgr. Schnee v.. Null Grad, und stelle sie auf die Kochplatte eines geheizten Ofens. S.. bald der Schnee geschmolzen ist, nehme man beide Gefäße vom Ofe.. Schon durch Eintauchen des Fingers wird man finden, daß das Wa.. in dem ersten Gefäße warm geworden, das Schneewasser in dem zwei.. Gefäße aber kalt geblieben ist. Ein hineingestelltes Thermometer zeigt in d.. ersten 64, in dem zweiten 0 Grad R. Beide Gefäße empfingen von d.. Ofen gleich viel Wärme, in den Schnee ist ebenso viel Wärme ein.. drungen, wie in das Wasser. Das Wasser ist durch die eingedrun.. Wärme warm, der Schnee aber flüssig geworden; in denselben ist .. Wärme so übergegangen, daß wir sie weder durch das Gefühl, noch d.. das Thermometer bemerken können.

Versuch c. In das Gefäß, welches das 64 Grad R. oder 80.. heiße Wasser enthält, schütte man unter schnellem Umrühren 1 Klgr. .. gestoßenen Eises von Null Grad und tauche ein Thermometer ein, sob.. das Eis geschmolzen ist. Das Quecksilber sinkt und stellt sich auf N.. Die dem Eis zugeführte Wärme hat dazu gedient, dasselbe zu schmelz.. Nun nennt man die Wärme, durch welche 1 Klgr. Wasser um 1° C. e.. wärmt wird, eine Calorie oder Wärmeeinheit. Das 80° C. warm.. Klgr. Wasser enthält 80 Wärmeeinheiten. Dieselben sind verbraucht, .. 1 Klgr. Eis zu schmelzen. Der Verbrauch an Schmelzwärme beträ.. daher für jedes Klgr. Eis 80 Wärmeeinheiten.

Aehnliche Erscheinungen treten beim Schmelzen anderer Körper ein. Allemal wird zum Uebergang eines festen Körpers in den flüssigen Zustand ein bestimmtes Maß Wärme verbraucht, welches seine Temperatur nicht erhöht. Die zur Aenderung des Aggregatzustandes verbrauchte Wärme hat man latente (verborgene) oder gebundene Wärme genannt. Man stellte sich vor, daß diese Wärme zwischen den Theilchen der flüssigen Körper verborgen sei. Nach dieser Ansicht bestehen flüssige Körper aus festen Körpern und gebundener Wärme; es erscheint für einen flüssigen Körper als nöthig, daß er mehr Wärme oder, da die Wärme wahrscheinlich durch Bewegungen eines höchst feinen, den Weltraum und alle Körper durchdringenden Stoffes, des Aethers, entsteht, eine größere Menge des Aethers in sich enthalte, als im festen Zustande.

Ein jeder Körper ist aus kleinen Theilen zusammengesetzt, die über und neben einander liegen und Massentheilchen oder Molecüle genannt werden. Die Molecüle berühren einander nicht, sondern sind durch Zwischenräume von einander getrennt, welche mit Aether erfüllt sind. Die Molecüle ziehen einander an mit einer Kraft, welche man die Kraft des Zusammenhanges (die Cohäsion) nennt; aber die sie umgebenden Aetherhüllen suchen sie, wie eine abstoßende Kraft, von einander fern zu halten. Bei den festen Körpern scheinen die Aetherhüllen am kleinsten zu sein; größer sind sie bei flüssigen, noch größer bei den luftförmigen Körpern, bei denen die abstoßende Kraft des Aethers überwiegend ist. Beim Erwärmen werden die Molecüle durch die Schwingungen des Aethers von einander entfernt, beim Erkalten werden sie durch ihre gegenseitige Anziehung einander wieder genähert. Die zum Schmelzen gebrauchte Wärme vollbringt innerhalb des schmelzenden Körpers eine Arbeit, indem sie die Cohäsion überwindet und die Molecüle von einander fern hält. (§. 395.)

Fig. 457.



Gesetz: Bei dem Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand wird Wärme gebunden.

§. 362. Die Kälte in der Umgebung eines schmelzenden Körpers.

Weil zum Schmelzen Wärme verbraucht wird, entzieht jeder schmelzende Körper seiner Umgebung Wärme. Im Frühjahr bleibt die Luft kühl, so lange Schnee und Eis schmelzen, weil dieselben die 80 Wärmeeinheiten für jedes Klgr., die sie zum Flüssigwerden gebrauchen, der Luft nach und nach entziehen. Ein Zimmer wird kalt, wenn viele Personen in dasselbe treten, an deren Schuhen Schnee haftet. Gefrornen Wein macht man dadurch wieder flüssig, daß man die Weinflaschen in kaltes Wasser stellt; der Wein thaut auf, entzieht dem Wasser Wärme, und es bildet sich Eis rings um die Flasche.

Versuch a. Man fülle ein Gefäß zum Theil mit kaltem Wa
(oder Schnee) und ermittle seine Temperatur durch ein hineingeste
Thermometer. Darauf schütte man frisch gepulverten Salpeter hin
und rühre ihn schnell um. Die Mischung wird mehrere Grad W
weniger zeigen, als das Wasser allein zuvor. Der Salpeter geht
dem festen in den flüssigen Zustand über und verbraucht dazu Wär
die er bindet und dem Wasser entzieht.

Versuch b. In eine metallene Schale, einen zinnernen Te
oder ein Trinkglas mit flachem Boden und dünnen Wänden schüttet m
Schnee, darauf Kochsalz, darauf wieder Schnee und nochmals Sa
Bringt man die Schale in ein geheiztes Zimmer und setzt sie auf
nasses Brett, so friert die Schale in wenigen Minuten an das Brett
Schnee und Salz werden flüssig, und die Schale muß die Wärme d
hergeben.

Durch solche Mischungen von Salzen mit Eis, Schnee oder Wa
wird eine Kälte hervorgebracht, welche die Zuckerbäcker zur Herstellung
künstlichem Eis benutzen. Bei jeder Kältemischung müssen die Sa
frisch gepulvert sein und, wenn eine hinreichende Kälte erzielt werden
in nicht zu geringer Menge, mindestens zu 1 oder 1,5 Klgr. genomm
werden. Das in Eis zu verwandelnde Wasser wird in ein cylinderförm
Metallgefäß gegossen, und dies stellt man in einen größeren, stark mit
umhüllten Behälter, in welchen die Kältemischung gethan wird. Di
kann aus 6 Gewichtstheilen Glaubersalz und 4 Theilen Salzsäure ge
mischt werden; die Eisbereitung, die an einem kühlen Orte und na
vorhergehender Abkühlung des dazu verwandten Wassers vorgenomm
wird, dauert dann vierzig Minuten; nach der Hälfte dieser Zeit wird d
Wassergefäß in eine frische Mischung aus denselben Bestandtheilen ge
Eine andere Kältemischung besteht aus gleichen Gewichtstheilen von salpe
saurem Ammoniak und Wasser, eine sehr häufig gebrauchte aus 5 The
Salmiak, 5 Theilen Salpeter und 19 Theilen Wasser.

Die Dampfbildung.

§. 363. Die Dampfbildung beim Kochen.

Versuch. Eine Kochflasche fülle man zur Hälfte mit Wasser, u
wickle sie nahe ihrer Oeffnung mit Papier, fasse sie hier an und h
sie über einer angezündeten Spirituslampe. Bequemer ist es, wenn m
einen Dreifuß nimmt, wie er zu einer Kaffee- oder Theemaschine gebr
ein aus Draht gebogenes Dreieck darüber legt und die Kochflasche d
auf stellt.

In Kurzem zeigen sich an den Glaswänden viele kleine Perlen, die emporsteigen. Es sind Luftblasen, die durch die Wärme ausgedehnt und aus dem Wasser vertrieben werden. Zwischen den Wassertheilchen befand sich Luft und verlieh der Flüssigkeit den erfrischenden Geschmack, den warm gewordenes Wasser nicht mehr hat. Ist das Wasser heißer geworden, so bilden sich an dem Boden des Glases größere, silberhelle Blasen, die ebenfalls emporsteigen, aber dabei kleiner werden und anfänglich wieder zergehen, ohne an die Oberfläche des Wassers zu gelangen. Dies sind Blasen von Wasserdampf, von Wasser, das durch die Wärme in den luftförmigen Zustand übergegangen ist, aber während des Aufsteigens von der noch nicht genug erwärmten Flüssigkeit abgekühlt und dadurch gezwungen wird, in den flüssigen Zustand zurückzukehren. Ist die ganze Flüssigkeit bis auf 80 Grad R. erhitzt, so steigen viel mehr Dampfblasen auf; sie setzen die ganze Wassermasse in eine wallende Bewegung, gelangen bis an die Oberfläche und breiten sich, indem sie zerplatzen, in die Atmosphäre aus. Die wallende Bewegung einer erwärmten Flüssigkeit, welche durch die in ihr aufsteigenden Dämpfe hervorgebracht wird, nennt man das Kochen oder Sieden derselben.

Fig. 458.



Vor dem Sieden tritt jenes eigenthümliche Geräusch ein, das man als das Singen des Wassers zu bezeichnen pflegt; es entsteht, indem die aufsteigenden Dampfblasen in dem noch nicht bis zur Siedehitze erwärmten Wasser zerplatzen, und die flüssigen Wassertheilchen dann auf einander fallen. Das Stoßen einer kochenden Flüssigkeit wird dadurch verursacht, daß sich plötzlich eine verhältnißmäßig große Flüssigkeitsmasse in Dampf verwandelt, sich gewaltsam ausdehnt und gegen die Flüssigkeit und das sie umschließende Gefäß nach allen Seiten hin einen Stoß ausübt.

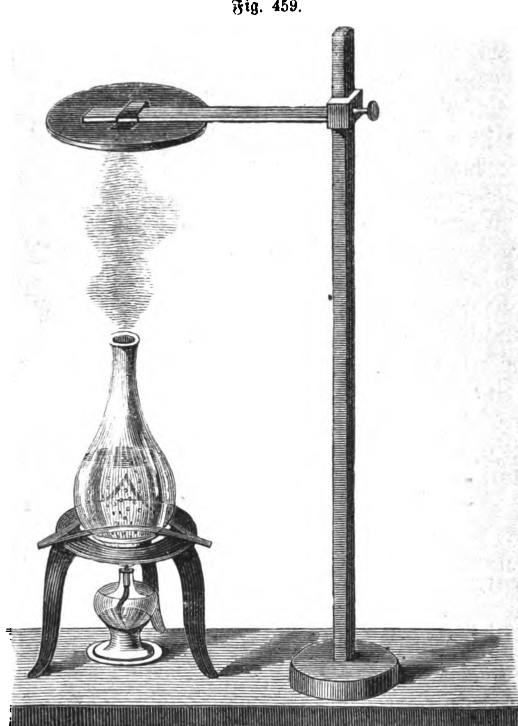
§. 364. Die Rückkehr des Dampfes in die Nebelform und den tropfbarflüssigen Zustand.

Durch Mittheilung von Wärme wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit verwandelt, und bei weiterer Erwärmung geht diese in die Form des Dampfes, das heißt, in den luftförmigen Zustand über. Durch Entziehung von Wärme wird eine Reihe von Veränderungen in umgekehrter Ordnung hervorgebracht. Wird dem Dampf Wärme genommen, so kehrt er in den flüssigen Zustand zurück, und wird auch dieser Flüssigkeit noch Wärme entzogen, so kehrt sie wieder in ihren ur-

sprünglichen, festen Zustand zurück. Eine Zunahme der Wärme hat Erscheinungen des Flüssigwerdens und der Dampfbildung, eine Abna der Wärme die Verdichtung des Dampfes und das Festwerden der Flü keit zur Folge.

Versuche. Betrachtet man den Wasserdampf, wie er in einer Ko flasche unmittelbar über dem kochenden Wasser aufsteigt, so findet m ihn vollkommen durchsichtig und unsichtbar. Ein in ihn getauch Thermometer bleibt a 80 Grad R., auf d Siedepunkt, stehen. S lange der Wasserdam seine Wärme beh verharrt er in der eige lichen **Dampfform** u ist für das Auge n wahrnehmbar.

Fig. 459.



Da er leichter i als die Luft, steigt empor und dringt a der Flasche hervor. D Thermometer zeigt daß er außerhalb des G fäßes von seiner Wär verloren hat. Wird d Dampf in der Luft a gekühlt, so verliert dadurch seine Du sichtigkeit und erich nunmehr in der Ge eines weißen Neb oder weißer Wolken. J großer Menge dring dieselben aus dem G gefäß, wenn man m einer Röhre kältere Luft hineinbläst und dadurch den Dampf etwas kühlt. In diesem Uebergangszustande zur tropfbarflüssigen Gestal dieser seiner **Nebelform** ist der Dampf halb verdichtet und bil hohle Wasserbläschen, die so klein und leicht sind, daß sie von Luft getragen werden.

Ueber die halb verdichteten, nebelförmigen Dämpfe, die aus kochenden Wasser aufgestiegen sind, halte man einen kalten festen Kö (einen Löffel, eine Untertasse, Metall- oder Glasscheibe). Daran werden Dämpfe durch völlige Abkühlung ganz verdichtet, setzen sich als k Tropfen an und kehren wieder in den **tropfbarflüssiegn Zustand** zu

Dasselbe nehmen wir an dem von uns außer Kohlensäure au athmeten Wasserdampf wahr. Im Sommer bleibt er bei trock

Wetter in seiner Dampfform völlig unsichtbar; in der Kälte erscheint er sogleich als ein weißer Nebel; und athmen wir ihn gegen eine kalte Fensterscheibe aus, so setzt er sich an dieselbe in Tropfenform, und die Scheibe beschlägt.

§. 365. Die gebundene Wärme des Dampfes.

Versuch a. In ein Gefäß mit siedendem Wasser hänge man ein Thermometer. Es stellt sich auf den Siedepunkt und steigt nicht über 80 Grad R., man mag ein noch so großes Feuer unter dem Gefäße unterhalten. Während der ganzen Dauer der Dampfbildung bleibt die Temperatur der kochenden Flüssigkeit dieselbe. Die fortwährend hinzukommende Wärme wird zur Bildung neuer Dämpfe verwandt, erhöht aber weder die Temperatur des Wassers, noch die ebenso hohe Temperatur der Dämpfe über den Siedepunkt hinaus.

Diese Thatsache läßt sich auf zweierlei Weise aussprechen, je nachdem man auf die Dämpfe oder auf die siedende Flüssigkeit achtet, aus der sie emporsteigen. 1) In den sich bildenden Dampf geht Wärme über, hält seine Theilchen von einander fern, scheint an dieselben gebunden und ist für das Gefühl und das Thermometer nicht wahrnehmbar. Bestehen flüssige Körper aus festen Körpern und gebundener Wärme, so besteht der Dampf aus einem flüssigen Körper und gebundener Wärme.

Gesetz: Bei dem Uebergang eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand wird Wärme gebunden.

2) Für eine kochende Flüssigkeit führt der Versuch auf folgendes

Gesetz: Eine siedende Flüssigkeit kann in einem offenen Gefäße nicht noch stärker erhitzt werden.

Ein lebhaftes Feuer ist daher unzweckmäßig, wenn die Flüssigkeit nur im Kochen erhalten werden soll, und bewirkt nichts Anderes, als daß ein großer Theil derselben in den luftförmigen Zustand übergeht. Häufig hat man aber eben die Absicht, die Flüssigkeit theilweise oder ganz zu entfernen, indem man sie verdampfen läßt. Beim Einkochen wird die flüssige Masse aus einer dünnflüssigen eine dickflüssige; beim Abdampfen wird die Flüssigkeit ganz ausgetrieben, und aus Salzwasser, unter welchem Feuer unterhalten wird, steigt das Wasser als Dampf empor, und das Salz bleibt als Rückstand in dem Gefäße. Soll eine Speise warm erhalten und zugleich vor dem Anbrennen sicher gestellt werden, so bedient man sich des Wasser- oder Marienbades; man thut sie in ein Gefäß, das in einem größeren, mit kochendem Wasser gefüllten hängt; das darunter brennende Feuer vermag die Temperatur nicht über den Siedepunkt zu steigern.

Versuch b. Man durchbohrt mit einer runden Feile den Kork einer Kochflasche und paßt in die Bohrung den kürzeren Arm einer zweimal gebogenen Glasröhre luftdicht ein. Den längeren Arm derselben läßt

man in ein Becherglas (ein Trinkglas mit dünnem Boden und dün Wänden) bis auf den Boden hinabreichen. Darauf gießt man in dieser beiden Gefäße 100 eiskalten Wassers und erw die Kochflasche auf einem D fuß durch eine Spirituslamp

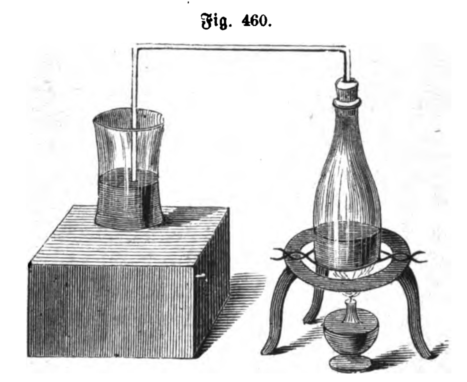


Fig. 460.

Die Zeit, welche nöthi um die 100 Gr. Wasser in Kochflasche zum Sieden zu brin merkt man sich, läßt aber d Sieden noch so lange fortdau bis auch das Wasser in Becherglas zu kochen beg Der inzwischen verflossene raum wird dem ersten Zeitra gleich sein. Das Becherglas weggenommen, die Lampe entfernt, und beide Gefäße gewogen. In Kochflasche finden sich 20 Gr. Wasser weniger, in dem Becherglas 20 Wasser mehr, als zuvor.

Der aus der siedenden Flüssigkeit in der Kochflasche aufsteige Wasserdampf hat keinen anderen Ausweg, als durch die Röhre in kalte Wasser im Becherglase. In demselben wird er abgekühlt, giebt Wärme an das Wasser ab und verdichtet sich selbst wieder zu tropfba Flüssigkeit. Da in dem Becherglase 20 Gr. Wasser mehr vorhan sind, so sind in der Kochflasche 20 Gr. Wasser verdampft. Zur Ve wandlung desselben in Dampf wurde dieselbe Zeit erfordert, wie Erhitzung der zuerst in der Kochflasche befindlichen 100 Gr. Wasser zum Siedepunkte. In gleichen Zeiten giebt aber die Spirituslam gleich viel Wärme an die Kochflasche ab. Folglich ist in die 20 G Dampf noch ebenso viel Wärme übergegangen, als erfordert wird, 100 Gr. Wasser von 0 bis 80 Grad R. = 100⁰ C. zu erhitzen. 100 Gr. = 0,1 Klgr. Wasser von 0⁰ bis 100⁰ C. zu erwärmen, 0,1 × 100 = 10 Wärmeeinheiten nöthig (§. 361.) Um 20 Gr. W von + 100⁰ C. in Dampf zu verwandeln, werden daher 10 Wärm einheiten verbraucht. Um 50 × 20 Gr. = 1 Klgr. Wasser in Dampf verwandeln, sind 50 × 10 = 500 Wärmeeinheiten, nach genaueren V suchen 536 Wärmeeinheiten, erforderlich. Der Verbrauch an V dampfungswärme beträgt demnach für jedes Klgr. Wasser Wärmeeinheiten. Außer dieser gebundenen Wärme hat der Da noch eine fühlbare, freie Wärme von 100⁰ C., so daß seine Gesam wärme für jedes Klgr. 636 Wärmeeinheiten beträgt.

Durch 20 Gr. Dampf, die selbst nicht heißer waren, als 100⁰ sind noch die 100 Gr. = 0,1 Klgr. kalten Wassers in dem Becherg bis zum Sieden, also bis auf 100⁰ C., erhitzt worden. Dazu 0,1 × 100 = 10 Wärmeeinheiten nöthig. Indem der Dampf in die tropfb flüssige Gestalt zurückgeführt wird, giebt er die in ihm gebundene Wärm

ieder ab und ist dadurch im Stande, 0,1 Klgr. Wasser bis auf 100° C.
ı erhitzen. 50 × 20 Gr. = 1 Klgr. Dampf erwärmen daher 50 × 0,1
= 5 Klgr. bis auf 100° C.; dazu sind 500 Wärmeeinheiten nöthig.

Sonach wird bei der Rückkehr des Dampfes in den tropf-
arflüssigen Zustand Wärme frei; und zwar ist die frei werdende
Järme des Wasserdampfes gleich seiner gebundenen Wärme und beträgt
:r jedes Klgr. 500, genauer 536 Wärmeeinheiten.

. 366. Die Verzögerung des Siedens durch den Druck der Luft und der Dämpfe.

Der Papinsche Topf oder Digestor. Da in einem offenen Gefäße
ine Flüssigkeit über ihren Siedepunkt hinaus erhitzt werden kann, und
rtan alle neu hinzukommende Wärme als gebundene Wärme in die
ıfsteigenden Dämpfe eintritt, für die Flüssigkeit aber verloren geht, so
uß man, um die Flüssigkeit stärker zu erwärmen, das Kochgefäß luft-
cht verschließen und das Aufsteigen von Dämpfen, folglich auch das
ochen, verhindern. Auf den vom Boden des Kochgefäßes aufsteigenden
ampfblasen lastet zunächst der nicht bedeutende Druck der Flüssigkeit
lbst; auf dieser aber lastet der Druck der Luft und der in ihr be-
ıdlichen Dämpfe. Vergrößert man diesen Druck, so können keine
ampfblasen mehr aufsteigen, und die Temperatur des Wassers selbst
ird erhöht.

Dazu dient der von dem Professor Papin zu Marburg 1681
funden Papinsche Topf oder Digestor. Es ist ein cylinder-
rmiges Kochgefäß aus Eisen oder Messing mit
ırken Wänden und hat oben einen umgebogenen
and. An denselben sind die Enden eines starken
etallenen Bügels befestigt, der sich lothrecht über
e Oeffnung des Gefäßes erhebt; oben enthält er
ne Schraubenmutter, durch welche eine Schrauben-
indel sich abwärts drehen und auf den Deckel des
igestors niederdrücken läßt. Der Deckel schließt
nau an den Rand des Gefäßes; er besteht aus
ner dicken, ebenen Messingscheibe, ist an einer
telle durchbohrt und mit einem Sicherheitsventil
rsehen. In die kegelförmige, nach unten sich
rengende Bohrung ist nämlich ein genau an-
)ließender Metallkegel geschoben, der sie wie ein
ork luftdicht verschließt; auf den Kegel drückt
ı einarmiger Hebel, so daß eine bestimmte Kraft erfordert wird,
ıs Ventil zu öffnen. Erhitzt man Wasser im Digestor, so bilden
h zuerst so viel Dämpfe, als zwischen dem Wasser und dem Deckel
aum haben; steigt die Wärme, so steigt auch das Bestreben der
ämpfe, sich auszudehnen, und sie drücken mit großer Spannkraft
ıch allen Seiten, auch auf das Ventil und das Wasser. Erreicht

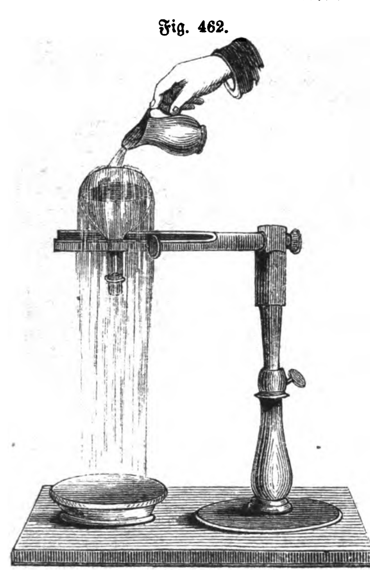
Fig. 461.

einmal ihre Spannkraft eine solche Höhe, daß ein Springen des G.
zu befürchten wäre, so öffnen sich die Dämpfe das Sicherheits
und strömen aus. Weil aber auch die Flüssigkeit den hohen
der Dämpfe erleidet, so wird ein ferneres Aufsteigen von Dampf
und ein Sieden unmöglich, und durch die fortwährend hinzuge
Wärme wird die Temperatur des Wassers selbst weit über den
punkt hinaus gesteigert. Knochen zerkochen in dem Digestor zu
und der darin enthaltene Leim wird ausgekocht; keineswegs aber
derselbe ein zweckmäßiges Nahrungsmittel ab, ebenso wenig, w.
Bouillontafeln, welche meistens aus Leim bestehen. — Bei den
Küchengebrauch bestimmten Papinschen Bouillontöpfen wird der
dichte Verschluß auf einfachere Weise bewirkt; der eben geschliffene
wird auf den geschliffenen Rand des Topfes gelegt und dann ge
dabei schieben sich Theile des Deckels unter übergreifende Ste
Topfrandes, und diese halten den Deckel fest.

Bedeckt man ein gewöhnliches Kochgefäß mit einem Deckel, der
herum gut anschließt, so sammeln sich zwischen ihm und dem
Dämpfe und erschweren durch ihren Druck gegen die Flüssigkeit das
steigen neuer Dampfblasen; die hinzukommende Wärme geht dann in
Wasser selbst über, dehnt aber auch die schon vorhandenen Dämpf
so aus, daß sie den Deckel emporheben und theilweise entweichen.
dessen war das Wasser kurze Zeit wenig über den Siedepunkt erhitzt w.

§. 367. Schnelleres Sieden bei geringerem Druck der und der Dämpfe.

Fig. 462.



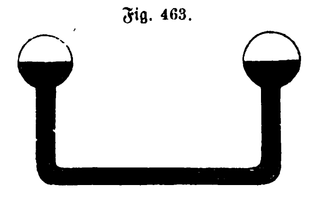
Versuch. Eine Kochflasche
ein Probircylinder) wird ha.
Wasser gefüllt und über der Spi
lampe so lange erhitzt, bis ein leb
Kochen eintritt. Man kann sie
an dem Hals fassen, um den m
mehreren Windungen einen Bin
gelegt hat. Nachdem das Sied
Weile gedauert hat, entferne m
Flasche vom Feuer und verschlie
mit einem Kork. Das Kochen
sogleich auf. Gießt man aber,
man die Flasche umgekehrt ha
dieselbe kaltes Wasser, so begin
Sieden von Neuem und tri
dann noch ein, wenn das Wass
lauwarm ist, und wieder kaltes
auf die Flasche gegossen wird.
lebhaften Kochen ist fast alle Luft
die Dämpfe aus der Kochflasche

:ben worden; nach dem Aufsetzen des Korks erleidet daher die warme ıssigkeit einen sehr geringen Luftdruck. Aber der Raum über dem ısser ist mit Dampf erfüllt, dessen Druck die fernere Dampfbildung .dert. Wird durch das aufgegossene kalte Wasser der Dampf zum Theil dichtet, und sein Druck vermindert, so beginnt alsbald das Kochen lauwarmen Flüssigkeit wieder.

Gesetz: Eine Flüssigkeit siedet desto leichter, je geringeren Druck Luft und Dampf darauf ausüben.

Lauwarmes Wasser fängt unter der Glocke der Luftpumpe trotz ıer geringen Wärme an zu kochen, wenn die Luft ausgepumpt, und durch der Luftdruck verringert wird. Schon die Wärme der Hand reicht ı, um den Spiritus im Pulshammer zum Sieden zu bringen. Der ılshammer, den die Mechaniker zu dem :eise von 1 bis 2 Mark liefern, ist eine . beiden Enden aufwärts gebogene und an ıem sich zu einer Kugel erweiternde Glas- ͺhre; sie ist luftleer und zum Theil mit ge- :btem Spiritus gefüllt Bei der Anfertigung ß man die eine Kugel offen, füllte die ͺhre mit der Flüssigkeit, trieb durch Sieden rselben in der Röhre die Luft aus und schmelzte die noch offene Kugel . Man hält die Vorrichtung so, daß beide Kugeln nach oben gerichtet ıd, und die Verbindungsröhre wagerechte Lage hat; nimmt man die ıe Kugel in die Hand, so steigen Dampfblasen auf, und die Flüssigkeit, ren Kochen durch keinen Luftdruck erschwert wird, wird unter lebhaftem ufwallen in die andere Kugel getrieben.

Fig. 463.



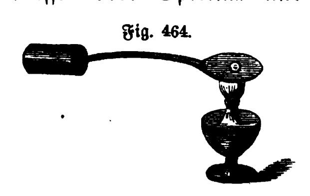
Anwendung des Thermometers zu Höhenmessungen. Reines ʼasser siedet am Meeresspiegel, bei einem Barometerstand von 28 Pariser oll, bei 80 Grad R. Auf hohen Bergen, wo man einen Theil der tmosphäre unter sich hat, ist der Barometerstand niedriger, und der Luft- ruck geringer. Folglich muß das Wasser in hochgelegenen Gegen- en bei geringerer Wärme sieden, als in der Tiefebene; es kocht ıf dem Montblanc bei 68 Grad R. und auf der Hochebene von Quito ı Amerika bei 72 Grad, weshalb dort Fleisch nur in verschlossenen ʼefäßen gar gekocht werden kann. Ein Berg muß desto höher sein, je eringere Temperatur auf ihm das kochende Wasser hat. Daher kann ıan das Thermometer und den Siedepunkt des Wassers benutzen, m die Höhe eines Berges zu ermitteln. Zu diesem Zwecke verwendet ıan ein Thermometer, dessen Grade sehr lang und in zwanzig Theile etheilt sind; es ist in ein metallenes Kochgefäß mit destillirtem, reinem ʼasser eingelassen, und unter demselben ist eine Spirituslampe ange- ͺhraubt.

§. 368. Der Leidenfrost'sche Versuch und die Feuerp

Wenn man gegen eine heiße Metallfläche, z. B. gegen di
eines geheizten Ofens, Wassertropfen bringt, so verwandeln sich d
schnell und zischend in Dampf. Eine auffallende, von dem A
Professor Leidenfrost zu Duisburg um die Mitte des vorigen J
derts beobachtete Erscheinung tritt jedoch ein, wenn die Meta
stärker erhitzt, besonders wenn sie glühend sind.

Versuch. Einen Blechlöffel (oder einen Streifen von
Metallblech) erhitze man, indem man ihn mittels eines Korks hä
auf einen Dreifuß legt, eine Zeit lang über der lebhaften
der Spirituslampe. Darauf nehme man ein Stäbchen, tauche
Wasser oder Spiritus und lasse den daran hängenden Tropfen
stark erhitzten Löffel fallen. Der Tropfe
nicht auf, siedet nicht und verdampft n
langsam; dabei befindet er sich in einer
den oder auf und nieder gehenden Bew
Ein zweiter Tropfen, den man zu dem
fallen läßt, vereinigt sich mit demselb
einem größeren Tropfen. Je heiße

Fig. 464.



Metall ist, besonders in der Weißglühhitze, desto größere Wasser
behalten darauf die sphäroïdale Gestalt oder Tropfenform. E
man die Lampe und läßt den Löffel sich abkühlen, so tritt ein Aug
ein, in welchem das Wasser plötzlich unter Zischen verdampft. Der V
lehrt, daß eine, sonst verdampfende, Flüssigkeit gegen stark er
Metall keine Adhäsion zeigt und dasselbe kaum berührt; die
ziehung, welche das heiße Metall gegen die Flüssigkeit ausübt, i
geringer, als der Zusammenhang derselben.

Aus der Eigenschaft des Wassers, an glühendes Metall n
adhäriren und dadurch den Uebergang der Wärme zu verlangsamen, e
sich die merkwürdige Thatsache, daß man mit der befeuchteten Hand gl
des Metall berühren, sie mit geschmolzenem Blei übergießen,
mäßiger Geschwindigkeit durch den fließenden Strahl geschmolzenen
ziehen oder selbst in die glühende Metallmasse eintauchen kann, oh
zu verletzen, während man sich an dem weniger heißen Eisen unte
verbrennen würde. Die an der Hand haftende Feuchtigkeit nimmt a
blicklich die Tropfenform an und verhindert auf kurze Zeit den U
gang der Wärme Die Geschichtsschreiber des Mittelalters berichte
Personen, die barfuß über glühende Eisenstäbe liefen, ohne die F
verbrennen, oder sich glühende flüssige Metallmassen über die entb
Arme gießen ließen oder auf andere Weise die Feuerprobe best
haben. Allein diese Angaben hatte man nachher vergessen oder für u
zuverlässig und fabelhaft erklärt, bis in neuester Zeit Boutigny b
Arbeitern in Schmelzhütten gesehen und durch eigne Versuche er
hat, daß die Feuerprobe nicht allein ausführbar, sondern auch bei geh
Vorsicht ein gefahrloser Versuch ist. Er erzählt, er habe, als e

t Wasser benetzten Finger einen Augenblick in geschmolzenes Blei
ıchte, dieselbe Empfindung gehabt, wie beim Eintauchen in fast siedend
ßes Wasser; wurde aber der Finger, anstatt mit Wasser, mit Spiritus
ıetzt, so war die Empfindung der Hitze bei Weitem geringer. Nur darf,
nn der Versuch keine Gefahr bringen soll, die Temperatur des glühen-
ı Metalles keine zu niedrige sein, und die einer geschmolzenen Metall-
ısse darf nicht so weit gesunken sein, daß sie nahe daran ist, wieder fest
werden.

§. 369. Die Verdunstung.

Die festen Körper gehen, vorausgesetzt, daß sie keine chemische Ver-
derung erleiden, nur dann in den flüssigen Zustand über, wenn sie bis
m **Schmelzpunkt** erwärmt werden. In entsprechender Weise geht
ıe Flüssigkeit bei gewöhnlichem Luftdruck in Dampf über, wenn sie bis
m **Siedepunkt** erhitzt wird; allein die Dampfbildung ist keineswegs
f diese hohe Temperatur beschränkt; sondern die **Verwandlung flüs-
ger Körper in luftförmige findet bei jeglicher Temperatur
tatt.**

Versuch a. Man fülle ein Trinkglas mit **Wasser** und lasse es im
mmer mehrere Tage lang stehen. Von Tage zu Tage wird man, was
ch für eine Temperatur im Zimmer herrsche, eine Abnahme der Flüssig-
t wahrnehmen, die ihren Grund darin hat, daß ein Theil derselben in
n luftförmigen Zustand übergegangen ist.

Versuch b. Gießt man einige Tropfen **Schwefeläther** in eine
ntertasse, so verwandelt er sich in wenigen Augenblicken in Dampf. Der
chwefeläther ist **flüchtiger** oder geht leichter und schneller in den luft-
rmigen Zustand über, als Wasser.

So verschwinden die **Thautropfen**, welche am Morgen die Wiesen
netzen, in wenigen Stunden, indem sie die Dampfform annehmen; das
egenwasser auf den Straßen trocknet, indem es dampfförmig wird, bei
ıs im Sommer schnell ab, und nicht selten trocknen die **Cisternen** in
n heißeren Gegenden aus. Das **Trocknen nasser Wäsche** ist nichts
nderes, als ein Uebergehen ihrer Feuchtigkeit in dampfförmigen Zustand;
an kann selbst in der strengsten Winterkälte, wenn das an ihr haftende
Jasser gefriert, Wäsche trocknen; aber es dauert länger, bis sie vollkommen
ocken ist, als wenn sie der warmen Sommerluft ausgesetzt wird.

Bei allen diesen Vorgängen verwandelt sich das Wasser in denselben
Jasserdampf, der beim Sieden aufsteigt. Während jedoch beim Sieden
ıe Dampfbildung **schnell** und unter Aufsteigen von Dampfblasen **im
nnern** der Flüssigkeit vor sich geht, findet bei den erwähnten Erschei-
ungen die Dampfbildung **langsam** und **nur an der Oberfläche** der
lüssigkeit Statt. **Die langsame Dampfbildung an der Oberfläche
iner Flüssigkeit wird Verdunstung genannt.** Wie die Kohlen-
ıure (§. 262) sich durch einen gegebenen Raum ausbreitet und daran
icht etwa durch die atmosphärische Luft verhindert wird, so übt kein luft-

förmiger Körper gegen einen anderen luftförmigen Körper einen
aus, sondern nur seine eigenen Theilchen stoßen einander ab. Be
Verdunstung hat daher der an der Oberfläche der Flüssigkeit sich bi
Dampf nicht den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden,
nur den Druck des bereits in ihr vorhandenen Wasserdampfes.
Sieden dagegen muß der im Innern der Flüssigkeit sich bildende D
den Druck der Flüssigkeit und den ganzen Luftdruck, der auf der Fl
keit lastet, überwinden; seine Spannkraft ist deshalb um ein Ge
größer, als der Luftdruck und vermag eine Quecksilbersäule von 2
zu tragen. Weit geringer ist der Druck des in der Luft befind
Wasserdampfes, der selten mehr, als eine Quecksilbersäule von 0,5
oder 13 Mm. Höhe tragen kann; so gering ist die Spannkra
durch Verdunstung entstehenden Dampfes.

§. 370. Beschleunigung der Verdunstung durch Luftzug, W und Vergrößerung der verdunstenden Oberfläche.

Versuch a. In zwei flache Schalen oder zwei Untertassen gieße
gleiche Mengen Wasser, in jede etwa so viel, als ein kleiner Probir
faßt, stelle die eine Schale an eine dem Luftzug ausgesetzte Stelle vor
Fenster und die andere auf einen nicht nahe bei dem Fenster und
Thür stehenden Tisch. Die dem Luftzug ausgesetzte Flüssigkeit
wird früher verdunstet sein.

So wird auch der Erdboden, wenn auf Regen Wind folgt,
trocken, als bei windstillem Wetter; und auf Trockenböden pflegt
für lebhaften Zug zu sorgen. Der Luftzug befördert die Verdun
indem er mit der Luft auch die aus der Flüssigkeit entstandenen D
hinwegführt und eine neue Luftschicht bringt, in der sich weniger D
vorfinden. Je weniger Wasserdämpfe aber auf den aufsteigenden D
lasten, oder je trockener die Luft ist, desto lebhafter muß die Verdun
vor sich gehen.

Versuch b. Stellt man von zwei gleich viel Wasser enthalt
Schalen die eine auf einen mäßig warmen Ofen, so erfolgt in ihr
Verdunstung der ganzen Wassermasse schneller, als in der anderen,
nur der Zimmerwärme ausgesetzt ist. Der geheizte Ofen liefert die W
die zur Dampfbildung nöthig ist, schneller, weshalb auch die Verdun
schneller fortschreitet.

Versuch c. Einen engen Probircylinder fülle man gan
Wasser und gieße dasselbe in eine Untertasse; dann fülle man den Pr
cylinder nochmals und gebe ihm neben der Schale lothrechte Ste
z. B. dadurch, daß man ihn in ein Gefäß mit Sand stellt. Die b
gleichen Wassermassen verdunsten; aber alles Wasser in der Schale
bereits verdunstet sein, während sich in dem Probircylinder noch W
befindet. Die Verdunstung geht an allen Punkten der Flüssigke
oberfläche vor sich; das Wasser in der Schale hatte eine weit grö

berfläche, als die ebenso große Wassermenge in dem Cylinder. Durch Vergrößerung der Oberfläche ist die Verdunstung befördert worden.

Weil bei einer größeren Oberfläche der verdunstenden Flüssigkeit die Verdunstung schneller vor sich geht, hängt man die Wäsche auf, wobei ihre Feuchtigkeit an vielen Punkten mit der Luft in Berührung kommt. In den Salzgärten am Strande des Meeres legt man große, flache Bassins an, leitet das Meerwasser hinein, läßt es verdunsten und gewinnt das Seesalz. In den Gradirhäusern der Salzwerke läßt man die salzhaltige Flüssigkeit auf Dornen träufeln, damit eine größere Fläche derselben mit der Luft in Berührung komme, und sie theilweise verdunste. Den Kühlschiffen in den Brauereien giebt man eine große Oberfläche und geringe Tiefe, damit die Verdunstung befördert werde.

Gesetz: Die Verdunstung wird durch den Luftzug, durch höhere Temperatur und durch Vergrößerung der verdunstenden Oberfläche befördert.

§. 371. Die Verdunstungskälte.

Versuche a. Man umwickle die Kugel eines Thermometers mit dünner Leinwand und feuchte dieselbe mit Schwefeläther an; alsbald wird das Quecksilber fallen. Zuvor gab das Thermometer die Wärme der Luft an; die Leinwand und der Aether haben dieselbe Temperatur, und doch zeigt das Instrument eine plötzliche Abnahme der Wärme an. Der Aether verdunstet sehr schnell, zur Bildung der Dämpfe ist aber Wärme erforderlich, die von ihnen gebunden wird; diese Wärme muß die Umgebung der verdunstenden Flüssigkeit, also auch die Thermometerkugel, hergeben und verlieren. — Auch wenn man die bewickelte Thermometerkugel nur mit Wasser benetzt, das die Temperatur der Luft hat, und sie dem Luftzug aussetzt, zeigt das Sinken des Quecksilbers die durch Verdunstung des Wassers erregte Kälte an.

Versuch b. Eine gewöhnliche Flasche werde mit Wasser gefüllt und bleibe so lange stehen, bis ein eingetauchtes Thermometer angiebt, daß es die Lufttemperatur angenommen hat. Benetzt man nun ein Tuch mit ebenso warmem Wasser und legt es um die Flasche, so wird nach einiger Zeit die Flüssigkeit darin kühler geworden sein; sie hat einen Theil ihrer Wärme an die Dämpfe abgegeben, die aus der Feuchtigkeit des Tuches sich gebildet haben.

Schon das Gefühl überzeugt uns davon, daß es nach einem Regen kühler wird, und in einem eben gereinigten Zimmer kühlt die Luft sich ab, wenn der Fußboden noch naß ist, Beides, weil die Wassertropfen die zum Verdunsten erforderliche Wärme der Luft entziehen. Bei naßkaltem Wetter treffen unsern Körper viele Wassertröpfchen, die uns zu ihrer Verdunstung Wärme nehmen. Das Anbehalten nasser Kleider hat eine Erkältung zur Folge, weil der menschliche Körper der

Wärme beraubt wird, welche nöthig ist, um die Feuchtigkeit in
zu verwandeln, und das Verdunsten des Schweißes nimmt dem
so viel Wärme, daß selbst in den heißesten Gegenden die Temperatur
Blutes nicht über 29 Grad steigt; weil der Luftzug die Verdunstung
schleunigt, darf man sich bei starkem Schweiß nicht in den Zug
Wein läßt sich dadurch kühl erhalten, daß man ein die Flasche
schließendes Gewebe anfeuchtet. In Aegypten stellt man sich in
heißen Jahreszeit aus dem lauwarmen Wasser des Nil seit uralten
dadurch ein erfrischendes Trinkwasser her, daß man das Flußwa
in Thonkrüge füllt, die nicht wasserdicht sind, sondern die Flüssigkeit
unzählige kleine Oeffnungen hindurchlassen; die Oberfläche der Thon
bleibt beständig feucht, ein Theil des hindurchgedrungenen Wassers
dunstet und verbraucht dazu so viel Wärme, daß die außen übrig blei
den und in ein untergestelltes Glas hinabrinnenden Tropfen ein kühle
Getränk geben. In Spanien bewahrt man das Trinkwasser gleich
in unglasirten, porösen Thongefäßen auf, welche Alcarazza's gen
werden; man fertigt sie in Andalusien aus Thon, dem man Kochsal
setzt, und der nur schwach gebrannt wird; ihre Gestalt ist vasenähn
ihre Farbe gelbbraun oder roth; das Wasser sickert durch die
und wird durch die an der Außenseite der Gefäße ununterbrochen
sich gehende Verdunstung um mehrere Grade abgekühlt

Wie stets bei dem Uebergange eines flüssigen Körpers in den
förmigen Zustand Wärme gebunden wird, so geschieht es auch bei
Verdunstung. Da aber der nicht verdunstende Theil der Flüssigkeit
deren Umgebung diese Wärme hergiebt und verliert, so hat das Gebund
werden von Wärme bei der Verdunstung stets eine Abkühlung zur F
die man als Verdunstungskälte bezeichnet.

Gesetz: Durch jede Verdunstung wird Kälte erregt.

Versuch c. Auffallend erscheint die Wirkung der Verdunstungskä
wenn durch dieselbe Wasser in Eis verwandelt wird. Man nehme ein
Probircylinder (oder eine unten mit einer Kugel versehene Glasröh
umwickle ihn am Boden mit Watte und gieße eine geringe Menge W
hinein. In das Wasser stelle man einen Draht, tröpfle Schwefeläther
die Watte und bewege, um die Verdunstung zu beschleunigen, den Cylin
hin und her oder drehe ihn, wie einen Quirl. Durch wiederholtes A
gießen von Aether und fortwährende Bewegung entsteht eine so bedeuten
Verdunstungskälte, daß man den Draht, wo er im Wasser gestanden
mit feinen Eisnadeln bedeckt findet.

Unter der Glocke der Luftpumpe verwandelt sich das Wa
in einem Uhrglase, über welchem ein Uhrglas voll Schwefeläther angebra
ist, in Eis; die Verdunstung des Aethers wird dabei durch das fortwähre
Auspumpen der bereits vorhandenen Aetherdämpfe befördert. In
indien und Tibet bereitet man sich in Gegenden, wo niemals natürlich
Eis existirt, künstliches Eis mit Hülfe der durch Verdunstung erreg
Kälte; man gräbt an luftigen, freigelegenen Orten flache Vertiefun

nd legt sie mit Thon und Zuckerrohr aus; während der heiteren, windi-
en Nächte läßt man darin flache, poröse Thonschalen mit Wasser stehen
nd findet des Morgens einen Theil desselben zu Eis gefroren, das man
n wohlverwahrten Eiskellern aufschichtet und zur Abkühlung der Getränke
erwendet. Die größte Kälte, die man hervorzubringen im Stande ist,
ntsteht durch schnelle Verdunstung der in Flüssigkeiten verwandelten Gase
§. 104). So bringt die Verdunstung der flüssigen Kohlensäure
ine Temperatur von 88°R. unter dem Gefrierpunkte hervor; wenn die
hand solche Kohlensäure berührt, so wird die Haut zerstört, als ob man
ich verbrannt hätte; reiner Weingeist wird bei dieser Kälte dickflüssig,
ind Quecksilber wird augenblicklich so fest, daß es sich hämmern läßt.

§. 372. Der Wasserdampf in der Atmosphäre und die hygroskopischen Erscheinungen.

Durch die beständig an der Oberfläche der Meere und Flüsse, des feuchten Erdbodens und der darauf wachsenden Pflanzen vor sich gehende Verdunstung bildet sich eine große Menge Wasserdampf und verbreitet sich, ohne uns sichtbar zu sein, durch die Atmosphäre. Wir erkennen sein Vorhandensein, seine Abnahme oder Zunahme aus seinen Wirkungen. Es giebt nämlich eine Anzahl von Körpern, welche den in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampf begierig einsaugen und dadurch eine Veränderung erleiden; man nennt sie hygroskopische, das heißt, Feuchtigkeit anzeigende Körper. Zu ihnen gehören von den unorganischen Stoffen besonders Chlorcalcium und Pottasche, in geringerem Maße Kochsalz und Kohle, unter den organischen Stoffen Haare, Fischbein, Saiten und die Grannen verschiedener Pflanzen.

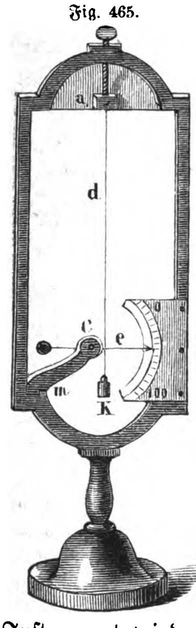
Versuch a. Setzt man etwas Pottasche oder Chlorcalcium der Luft aus, so nehmen sie den Wasserdampf aus derselben begierig auf und zerfließen. Daher wendet man das Chlorcalcium an, um Gasarten zu trocknen, indem man sie durch eine damit gefüllte Chlorcalciumröhre strömen läßt.

Beim Kochsalz wechseln Feuchtigkeit und Trockenheit mit dem Zustande der Luft; Salz, das eine Menge Dampf absorbirt oder aufgenommen hat, hat ein größeres Gewicht; die Verkäufer verwahren es deshalb in feuchten Kellern, damit es nicht zur Zeit der Trockenheit einen zu großen Gewichtsverlust erleide. Bei feuchter Luft saugen die nur geglühten Kohlentheilchen, welche mit dem Rauch emporsteigen, unmittelbar über dem Schornstein Wasserdampf ein, werden schwerer und fallen sogleich zu Boden; daher gilt das Niedersinken des Rauches bei stillem Wetter als ein Anzeichen von großer Feuchtigkeit der Luft.

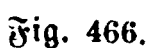
Versuch b. Haare verlängern sich, was den lockentragenden Damen wohlbekannt ist, indem sie bei feuchter Luft eine Menge Wasserdampf aufnehmen. Ein Haar kann deshalb dazu dienen, anzuzeigen, ob die Feuchtigkeit der Luft größer oder geringer geworden ist. Man wähle

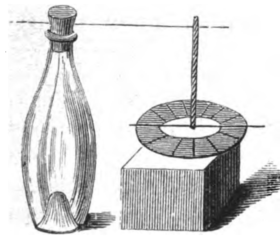
ein weiches, blondes Menschenhaar von hinreichender Länge und beraubt es seines Fettes, indem man es vierundzwanzig Stunden in Schwefeläther liegen läßt. Um die Ausdehnung des Haares größer darzustellen, genügt die in §. 348.a angegebene Vorrichtung; man bringt das Haar in derselben an die Stelle, die der Faden einnahm, bindet es mit dem einen Ende rechts an den in irgend einem Gestell befestigten Draht und links an den hängenden Draht, der als Hebel die Verlängerung oder Verkürzung des Haares in größerem Maßstabe darstellen soll und etwas schräg hängen muß, damit er durch sein Gewicht das Haar spanne. Bei feuchtem Wetter wird das untere Hebelende sich nach links bewegen, bei trockner Luft wird es durch das sich verkürzende Haar nach der rechten Seite gezogen. Um die Feuchtigkeitsgrade in Seidenbauanstalten zu bestimmen, bedient man sich gewöhnlich des von Saussüre angegebenen Haarhygrometers. Ein metallener Rahmen von 32 Cm. Länge und 11 Cm. Breite hat oben eine Klemme a, die den oberen Theil eines entfetteten blonden Haares festhält; unten ist an den Rahmen eine Gabel m befestigt, die eine Rolle c mit zwei Schnurläufen trägt. In den einen Schnurlauf ist das untere Ende des lothrecht ausgespannten Haares befestigt; in dem anderen Schnurlauf ist ein Seidenfaden angebracht, an dem ein 0,18 Gr. schweres Gewicht K hängt. Das Gewicht erhält das Haar gespannt. An die Rolle ist ein Zeiger e befestigt, der sich vor einem eingetheilten Kreisbogen bewegt. Das Instrument wird zuerst unter eine Glocke gebracht, in der die Luft durch Chlorcalcium getrocknet ist; der Punkt der Eintheilung, vor dem der Zeiger steht, wird mit Null bezeichnet. Nachher bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit Wasser benetzt sind; das Haar dehnt sich aus, und der Punkt der Eintheilung, auf den der Zeiger weist, wird mit 100 bezeichnet. Den Raum zwischen 0 und 100 theilt man in 100 gleiche Theile oder Feuchtigkeitsgrade.

Fig. 465.



Versuch c. Ein kurzes Stück einer Darmsaite wird in Wasser gelegt, mit dem oberen Ende an einen wagerechten Draht festgebunden und in lothrechter Richtung straff gezogen. Das untere Ende durchbohrt man mit einer Nadel und schiebt ein sehr dünnes Stäbchen hindurch, das wagerecht schweben muß. Während die Saite trocknet, dreht sie sich zusammen und bewegt das Stäbchen, dessen Umdrehung sich an einer untergelegten Kreisscheibe von Papier beobachten läßt. Wird dagegen die Luft feuchter, so dreht sich die Saite auf und wird länger.


Fig. 466.



In den Wetterhäuschen, die man hin und wieder als Wetterpropheten an den Fenstern angebracht sieht, ist ebenso unten an eine Saite ein Querstäbchen oder eine Kreisscheibe befestigt; auf der einen Seite des Stäbchens steht ein Mann mit einer Gießkanne, auf der andern ein Frau mit ausgespanntem Regenschirm. Dreht sich bei großer Trockenheit der Luft die Saite zusammen, so tritt der Mann aus der Thür des Häuschens; bei feuchter Luft sich aufdrehend, bringt die Saite das andere Stabende zum Vorschein mit der Frau, die Regen fürchtet. Die Vorrichtung ist nur anfänglich brauchbar; sehr bald aber ändert sich beim fortwährenden Drehen der Saite die Stellung des Stäbchens.

Versuch d. Man suche an dem Reiherschnabel (Erodium cicutarium) eine Frucht, die mit einer langen, schraubenartig gewundenen Granne versehen ist, lasse sie trocknen, zeichne auf einer Pappscheibe einen in mehrere Theile getheilten Kreis, stecke die Frucht in den durchbohrten Mittelpunkt des Kreises und hänge die Vorrichtung vor dem Fenster auf. Bei feuchter Luft wickelt sich die Granne auf, indem sie Wasserdampf aus der Luft aufnimmt; bei trocknem Wetter windet sie sich mehr zusammen.

§. 373. Hygrometer und Psychrometer.

Genauere Ergebnisse, als durch die hygroskopischen Vorrichtungen, erzielt man durch ein Verfahren, bei dem man die in der Atmosphäre vorhandenen Dämpfe so weit abkühlt, bis sie theilweise in die tropfbarflüssige Gestalt zurückkehren.

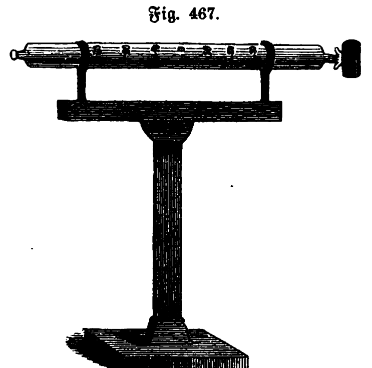
In jedem Raume kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf vorhanden sein, und zwar desto mehr, je größer seine Wärme ist. Enthält die Luft wirklich so viel Dampf, als sie bei ihrer Temperatur aufzunehmen vermag, so sagt man, sie sei mit Wasserdampf gesättigt; wir nennen die Luft feucht, wenn sie bei ihrer Temperatur dem Sättigungspunkte nahe ist, trocken, wenn sie davon noch weit entfernt ist. Es können an einem Wintertage und an einem heißen Sommertage völlig gleiche Dampfmengen in der Atmosphäre vorhanden sein; aber während sie im Winter dadurch sehr feucht wird, zeigt sie im Sommer, da sie bei höherer Wärme mehr Dämpfe aufnehmen kann, sich ziemlich trocken. Wird eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luftmasse nur wenig abgekühlt, so kann bei ihrer geringeren Wärme die fruhere Dampfmenge nicht bleiben; sondern ein Theil derselben wird als Thau oder Regen tropfbarflüssig. Indessen ist die Luft gewöhnlich nicht gesättigt; sie würde es aber bei unveränderter Menge des Wasserdampfes sein, wenn sie kälter wäre. Es läßt sich nun der Wärmegrad finden, bei dem für die herrschende Luftfeuchtigkeit eine Sättigung der Luft Statt hätte.

Versuch a. In ein Trinkglas gieße man etwas Wasser, das schon eine Zeit lang gestanden und die Temperatur der Luft angenommen hat. Demselben setze man nach und nach frisches, kälteres Brunnenwasser zu, stelle

ein Thermometer hinein und rühre es damit um. Zugleich mit dem Wasser wird die das Glas umgebende Luft- und Dampfschicht kälter. Fährt man mit dem Zugießen von kaltem Wasser fort, so tritt ein **Augenblick** ein, in welchem die Außenseite des Glases mit einem feinen **Thau beschlägt**. Dann sieht man nach, wie viel Grad das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer zeigt. Für die von ihm angezeigte Temperatur ist die Luft mit dem vorhandenen Wasserdampf gesättigt; denn ein Theil desselben beginnt, als Thau tropfbarflüssig zu werden. **Die Temperatur**, bei welcher der in der Luft vorhandene Wasserdampf sich zu **verdichten** anfängt, **oder für welche die Luft mit dem vorhandenen Wasserdampf gesättigt ist, heißt der Thaupunkt.** Liegt der Thaupunkt viel tiefer, als die Temperatur der Luft, so läßt sich auf heiteres Wetter schließen. Tritt bei einer Luftwärme von 16 Grad das Beschlagen des Glases bei 10 Grad ein, so enthält die Atmosphäre nur so viel Dämpfe, daß sie bei 10 Grad Wärme damit gesättigt wäre; sie kann also noch Dämpfe aufnehmen, und erst dann wird ein Theil derselben tropfbarflüssig werden, wenn ihre Wärme bis auf 10 Grad gesunken ist.

Versuch b. Man legt ein Thermometer wagerecht auf ein Glas oder ein passendes Gestell und umwickelt seine Kugel mit Batist oder feiner Leinwand. Man biegt ferner aus recht dünnem Blech eine kurze Röhre, die zur Linken, wo an die Kugel des Thermometers dessen Röhre gefügt ist, aufgeschlitzt ist; die Länge der Röhre sei anderthalbmal so groß, als der Durchmesser der Thermometerkugel; die Weite so, daß die Röhre gut an die bewickelte Kugel anschließe. Auswendig muß die Röhre möglichst gut polirt sein. Sie wird über die Thermometerkugel geschoben. Tröpfelt man von oben her, wo sie offen ist, Schwefeläther auf die Umwickelung der Kugel, so werden durch Verdunstung desselben Kugel und Metallröhre **abgekühlt**. Hat man das Auströpfeln des Aethers oft genug wiederholt, so erscheint auf der Außenseite der Röhre ein feiner Thau von flüssig gewordenem Wasserdampf. Gleichzeitig giebt das Thermometer den Thaupunkt an.

Fig. 467.

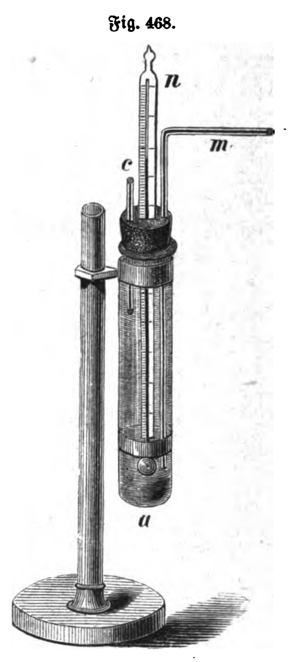


Zur Auffindung des Thaupunktes bedient man sich gewöhnlich eines **Schwefelätherhygrometers** oder eines **Psychrometers**.

Das Schwefelätherhygrometer von Döbereiner besteht aus einem Glascylinder, einem Thermometer und einer Glasröhre und hat vor ähnlichen Instrumenten den Vorzug, daß man es sich selbst leicht zusammenstellen kann. Der Glascylinder a ist 14 Cm. lang und ungefähr 2 Cm. weit, seine Wände sind dünn; über den unteren Theil kann, was aber nicht durchaus nothwendig ist, zur Erleichterung der Beobachtung ein

Ring aus dünnem, polirtem Silberblech geschoben werden. Oben auf den Cylinder wird ein Kork gesetzt, der nicht luftdicht schließt, sondern nur die Bestimmung hat, ein hindurchgeschobenes Thermometer n und eine ebensoweit hinabreichende Glasröhre m zu tragen; die Glasröhre führt aus dem Cylinder zuerst lothrecht empor und ist dann bei m zu einer wagerechten Strecke umgebogen; der Kork erhält, bei c, noch eine Durchbohrung, die offen bleibt. (Statt des Cylinders kann ein polirtes, kürzeres Metallgefäß genommen werden, das nur den untersten Theil des Thermometers einschließt. Den Kork kann man weglassen, wenn man das Gestell höher arbeitet und an ihm das Thermometer aufhängt.) Beim Versuch beobachtet man an dem Thermometer zuerst die Temperatur der Luft; dann wird der dritte Theil des Cylinders mit Schwefeläther gefüllt, und das Thermometer nebst der Glasröhre in den Aether hineingesenkt. Darauf bläst man durch die Glasröhre m mit dem Munde oder mit einem Gummiballon oder Blasebalg Luft in die Flüssigkeit und fährt damit fort, bis der untere Theil des Cylinders sich auswendig mit feinem Thau bedeckt. Man beobachtet den Stand des eingetauchten Thermometers sowohl beim Beginn des Bethauens, als auch beim Verschwinden des Thaues; das Mittel aus beiden Wärmegraden ist der Thaupunkt. Beginnt die Entstehung des Thaues bei + 7½ Grad R., und verschwindet derselbe bei + 8½ Grad, so ist 8 Grad der Thaupunkt.

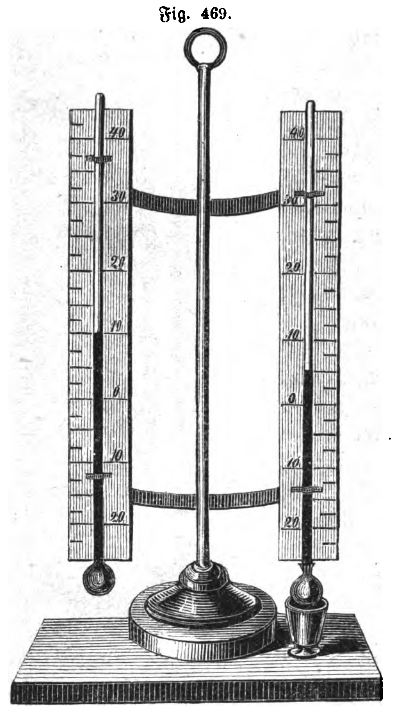
Fig. 468.



Das Psychrometer (Naßkältemesser) von August besteht aus zwei genau gearbeiteten Thermometern, (die gewöhnlich auch halbe Grade anzeigen); sie hängen neben einander, das eine giebt die Temperatur der Luft an, die Kugel des andern aber ist mit feiner Leinwand umwickelt, die in ein darunter stehendes Gefäß mit Wasser reicht, und wird durch die Capillarität des Zeuges beständig feucht erhalten. Wegen der dadurch herbeigeführten Verdunstung muß das zweite Thermometer niedriger stehen, als das erste. Ständen beide gleich hoch, so wäre keine Verdunstungskälte, folglich auch keine Verdunstung vorhanden; die Luft nähme keine Dämpfe mehr auf und wäre vollkommen gesättigt. Je tiefer aber das befeuchtete Thermometer steht, desto größer ist die Verdunstungskälte, und desto lebhafter ist die Verdunstung; je lebhafter aber die Verdunstung vor sich geht, desto trockner ist die Luft. Beim Psychrometer schließt man zunächst aus der Verdunstungskälte auf die Schnelligkeit der Verdunstung an einem vor dem Luftzug geschützten Orte, und aus dieser auf die bereits in der Atmosphäre enthaltene Dampfmenge.

Versuche c. Das Thermometer gab eines Tages die Luftwärme zu 11 Grad R. an; es wurde die Kugel desselben mit dünner Leinwand umwickelt und mit etwas Wasser benetzt; das angefeuchtete Thermometer zeigte 10 Grad. Darauf wurde es abgetrocknet, von Neuem mit Leinwand bewickelt, und nach dem in Versuch b. angegebenen Verfahren der Thaupunkt gesucht; als Thaupunkt ergab sich 9 Grad. Der Thaupunkt lag 1 Grad unter der Temperatur des angefeuchteten Thermometers, und diese lag 1 Grad unter der Luftwärme. An einem andern Tage betrug die Luftwärme 17 Grad; das mit Wasser angefeuchtetes Thermometer zeigte 12 Grad; das Schwefelätherhygrometer gab als Thaupunkt 7 Grad an. Der Thaupunkt lag 5 Grad unter der Temperatur des feuchten Thermometers, und diese lag 5 Grad unter der Luftwärme. Bei einer dritten Beobachtung betrug die Luftwärme 20 Grad, das feuchte Thermometer zeigte 16 = 20 − 4 Grad, und als Thaupunkt wurde 12 = 16 — 4 Grad gefunden. Daraus ergiebt sich: *Der Thaupunkt liegt meistentheils ebenso viel Grade unter der Temperatur des angefeuchteten Thermometers, als diese unter der Luftwärme. Mit Hülfe des Psychrometers findet man* den Thaupunkt ziemlich genau, indem man den Unterschied zwischen der Luftwärme und der Temperatur des angefeuchteten Thermometers ermittelt und denselben von der Temperatur des feuchten Thermometers abzieht.

Fig. 469.



§. 374. Thau und Reif.

Wenn man im Winter ein *Trinkglas*, das in einem ungeheizten Raume aufbewahrt worden ist, in ein geheiztes Zimmer bringt, so werden die das Glas umschwebenden Luftschichten bis unter den Thaupunkt abgekühlt; ein Theil der in ihnen befindlichen Wasserdämpfe setzt sich, in den tropfbaren Zustand zurückkehrend, an das Glas, und es beschlägt. Unsere *Fensterscheiben* beschlagen, wenn die von außen sie berührende Luft sie dermaßen abkühlt, daß die ihnen nahen Wasserdämpfe im Innern des Zimmers sich in Tropfengestalt daran absetzen; da ein bewohnter Raum weit mehr Dämpfe, die theils durch Ausathmen gebildet, theils

den Speisen aufgestiegen sind, enthält, beschlagen darin die Fenster reichlicher, als in unbewohnten Zimmern. Aehnlich dem Beschlagen des Glases ist die Bildung des Thaues im Großen.

Versuch a. An einem heitern und windstillen Sommerabend stelle man in geringer Entfernung über dem Erdboden in wagerechter Lage eine Glasscheibe auf; man kann sie in einen Kork klemmen, den man auf einen Stab nagelt. Am Morgen wird man sie, falls nicht in der Nacht trübes, stürmisches Wetter eingetreten ist, oben und unten mit Thau bedeckt finden. Man darf daher ebenso wenig, als man von der Feuchtigkeit an unseren Fensterscheiben sagt, sie sei darauf gefallen, sagen, daß Thau gefallen sei. Vielmehr sind eben dieselben Wasserdämpfe zu Thautropfen verdichtet worden, welche zuvor schon in unsichtbarer Gestalt die jetzt bethauten Gegenstände umschwebten.

Versuch b. Senkt man nach Sonnenuntergang vor einer Nacht, da Thau zu erwarten steht, ein Thermometer in das noch nicht bethaute Gras, so wird man seine Temperatur tiefer finden, als die der Luft. In heiteren, windstillen Nächten werden Gegenstände an der Erdoberfläche kälter, als die Luft, und verdichten darum die sie einhüllenden Dämpfe der unteren Luftschichten. Die Abkühlung geht dem Bethauen voran.

Versuch c. Man hänge in geringer Entfernung über dem Erdboden zugleich ein Flöckchen Wolle und ein blankes Metallstück auf. Hat die Abkühlung des Erdbodens begonnen, so untersuche man mit dem Thermometer die Wärme beider Körper; die Wolle wird sich mehr abgekühlt haben, als das Metall. Und am Morgen wird man die Wolle mit Thau bedeckt finden, das Metall aber nicht.

Alle Gegenstände an der Erdoberfläche senden Wärmestrahlen in den kalten Himmelsraum aus, die man nicht sehen, aber deren Wirkung man wahrnehmen kann. Durch dies Aussenden von Wärme werden sie selbst abgekühlt und kühlen darum auch die Dämpfe um sich her ab. Allein wie der Versuch lehrt, kühlen nicht alle Körper in der Nacht sich gleich stark ab; folglich können sich auch nicht alle mit Thau bedecken. Gras und Blätter, auch Glas, Papier, Federn und Wolle, erkalten durch die nächtliche Wärmestrahlung weit mehr, als die Metalle, auch noch mehr, als Sand und Steine. Darum werden Gras und Blätter am meisten bethaut.

Fig. 470.

Versuch d. Wer in der Frühe eines Sommermorgens sich ins Freie begiebt, findet, daß unter den großen Zweigen der Bäume der Boden nicht bethaut ist. Um die Ursache dieser Erscheinung zu erforschen, schlage man am Abend vier kurze Stäbe in den Erdboden, deren Spitzen sich 16 Cm. über den Rasen erheben, und lege auf die Stäbe ein Brett oder spanne ein Taschentuch

zwischen ihnen aus. Prüft man mit dem Thermometer, während rin- herum das Gras kälter wird, die Temperatur des überdeckten Rasenfleck- so wird man sie höher finden, als die des nicht überdeckten Erdbo- Durch eine Decke oder einen Schirm wird also die Abkühl- des Bodens verhindert; die Gärtner wissen ihre zarten Pflanzen du- darüber ausgebreitete Strohmatten vor dem Kaltwerden zu schütz- und unter Zelten thaut es nicht.

Wie ein vor den Ofen gestellter Schirm die wärmenden Strah- zurückwirft und dem Ofen wieder zusendet, so sendet auch der über de- Grase ausgespannte Schirm diesem die Wärmestrahlen zurück. Dasse- thut eine Wolkendecke, die den Luftkreis überzieht. Aus diesem Grun- thaut es bei bewölktem Himmel nicht.

Bei windigem Wetter kommt fortwährend wärmere Luft mit de- festen Körpern in Berührung, theilt ihnen Wärme mit, und die Luft zie- an ihnen vorüber, ohne daß sie bis zum Thaupunkt erkältet werden kan-

Entsteht der Thau durch Verdichtung des atmosphärischen Wasse- dampfes an den durch nächtliche Wärmestrahlung bis zum Thaupunkt a- gekühlten festen Körpern der Erdoberfläche, so erscheint **der Reif** b- ihrer Abkühlung unter den Eispunkt. Der Reif ist gefrorner Th- und besteht aus feinen Eisnadeln; er erscheint darum an den Gegen- ständen, die durch Strahlung am kältesten geworden sind, und setzt s- nicht an solche Pflanzen, die im Spätherbst etwa noch von belaubt- Baumzweigen überschattet werden.

§. 375. Nebel und Wolken.

Nebel und Wolken entstehen, wenn aufsteigende Wasserdämpfe i- kältere oder fast gesättigte Luftschichten gelangen. Wir nehmen die Nebe- bildung im Kleinen über jedem Gefäße mit heißem Wasser wahr; der daraus aufsteigende Dampf gelangt in kältere oder feuchte Luft, wir- in der Luft selbst und ohne Berührung mit einem festen Körper hal- verdichtet und sichtbar.

Im Großen bildet sich **der Nebel**, vorzugsweise an Herbstabenden über Flüssen oder Seen oder über dem feuchten Erdboden. Aus dem Wasser, das länger warm bleibt, steigen wegen seiner höheren Tempe- ratur immer noch Dämpfe auf; aber die kältere oder feuchte Atmosphäre vermag nicht, sie in ihrer unsichtbaren Dampfgestalt aufzunehmen und zu bergen. Sie beginnen sich zu verdichten und erscheinen in der Ueber- gangsform hohler Wasserbläschen, deren Umfang außerordentlich klein is- Den Seifenblasen ähnlich, mit Luft gefüllt und von einem feinen Wasser- schleier umhüllt, werden die Wasserbläschen des Nebels eine Weile von der Atmosphäre getragen und sinken dann nieder. Fallen sie auf wärmeres Erdreich oder Wasser, so steigen sie abermals als Dampf und Nebel au- Die anhaltende Erscheinung des Nebels verdankt daher ihr Bestehen einem Wechsel von Vergehen und Wiederentstehen.

Wolken sind nichts Anderes, als Nebel in höheren Luftschichten, und Nebel nichts Anderes, als auf dem Erdboden liegende Wolken. Die Bewohner des Thales erblicken die Gipfel der Berge in Wolken gehüllt, während der Gebirgsreisende auf diesen Höhen durch Nebel schreitet. Von der aufsteigenden Luftströmung emporgetragen, gehen die Dämpfe in die Nebelform über, sobald sie kältere oder gesättigte Luftschichten berühren. Eine Wolke verändert zusehends ihre Gestalt und ihren Umfang; in ihr sinken Wasserbläschen nieder, die, in wärmere Luftschichten gekommen, sich wieder in Dampf auflösen, und neue Wasserbläschen schließen sich an. Sogar eine ganze Wolke, die sich langsam in wärmere Luftstrecken hinab läßt, kann verschwinden und sich in unsichtbaren Wasserdampf auflösen, und wiederum kann diese Dampfmasse von der aufsteigenden Luft in die Höhe geführt und zu einer Wolke gestaltet werden.

Eintheilung der Wolken. Nach ihrer Gestalt und Beschaffenheit lassen sich vier Hauptarten von Wolken unterscheiden, Feder-, Haufen-, Schicht- und Regenwolken.

1) Die Federwolken sind die höchsten unter allen Wolken und bestehen wahrscheinlich nicht aus Wasserbläschen, sondern aus feinen Eisnadeln. Es giebt keine Wolkenart, die in ihrer Ausdehnung und Gestalt so wandelbar wäre, wie die Federwolke; sie ist ein Bild der Veränderlichkeit. Bald sind es feine, gleichlaufende Fasern, herabhängenden Federn vergleichbar, bald sich durchkreuzende, netzähnliche Gewebe, bald kreisförmig gewundene Bänder, die einer aufgelösten Locke gleichen. Die Federwolken sind die ersten Wolken, die nach vollkommen heiterem Wetter an dem blauen Himmel erscheinen.

2) Die Haufenwolken sind halbkugelförmige Massen, die sich über einer wagerechten Grundfläche aufthürmen. Sie bilden sich nicht selten in den letzten Stunden eines schönen Vormittags, nehmen ab und zu, senken sich gegen Abend, wenn das Emporsteigen der Luft aufhört, und lösen sich dann oftmals wieder in Dampf auf, so daß der Himmel völlig heiter wird. Zuweilen aber verschwinden sie nicht nach Sonnenuntergang, sondern werden dichter und dunkler und sind dann Vorboten von Sturm oder Regen.

3) Die Schichtwolken dehnen sich über den Himmel in wagerechten Streifen aus; sie steigen nach Sonnenuntergang empor und zergehen oft nach Sonnenaufgang.

4) Die Regenwolke entsteht aus Haufenwolken, die in großen Massen aufsteigen oder aus Schichtwolken, die sich anhäufen. Sie nehmen an Umfang zu und gestalten sich zu unregelmäßigen Gebilden von blauschwarzer Färbung und großer Dichtigkeit.

§. 376. Regen, Schnee und Hagel.

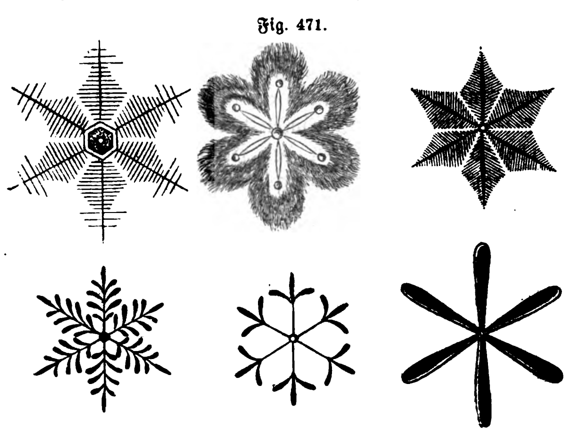
Fortwährend steigt das verdunstende Wasser aufwärts; ein ganzes Drittheil derjenigen Wärme, welche durch die Sonne auf Erden erregt wird, hat keine andere Thätigkeit zu vollbringen, als die Verdunstung des Meeres zu bewirken. Als unsichtbarer Dampf steigt das Wasser auf,

um als Regen, Schnee oder Hagel wieder zur Erde zu fallen. Als
nender Mühlbach oder als belebende Wasserstraße dem Meere wieder
eilend, vollendet es seine stete Bewegung und seinen Kreislauf
Wasser, Luft und Erde.

Der Regen. Von einem hinreichend warmen Winde werden
Regenwolken getragen und mitfortgeführt. Wenn aber der Wind
legt, und die Regenwolke sich in tiefere Luftschichten hinabsenkt,
wegen der durch die warme Luftströmung herbeigeführten lebhaften
dunstung fast mit Dampf gesättigt sind, oder wenn eine kältere Luftsch
die Regenwolke berührt, dann fließen die Wasserbläschen der Wolke
sammen, werden schwerer, bilden Tropfen und fallen als Regen her.
Die Menge des Regens, die an einem Orte fällt, mißt man, inde
man das Regenwasser in cylinderförmigen Gefäßen auffängt und die
angiebt, bis zu welcher es darin steht. So hoch würde das Wa
auf dem Erdboden stehen, wenn es nicht von ihm aufgenommen wür
oder verdunstete. Die Menge des Regens hängt von der Entfernung
Ortes vom Aequator, von seiner Meeresnähe und seiner Erhebung
den Meeresspiegel ab. Während bei uns die jährliche Regenmenge
gefähr 60 Cm. beträgt, erreicht sie in der Nähe des Aequators eine
von mehr, als 2 M. An der Küste ist sie reichlicher, als im Binn
lande, weil dort die Menge der entstehenden Dämpfe reichlicher ist.
Gebirgen fällt mehr Regen, als in den Ebenen. Nach der Größe
Tropfen unterscheidet man Staubregen und Platzregen, nach
Verbreitung über einen kleinen Strich oder eine große Landstrecke Stri
regen und Landregen.

Der Schnee. Im Winter verwandeln sich die aus wärmeren Ge
den herübergewehten Wasserdämpfe in kalten Luftschichten, deren Tem
ratur unter dem Ge
punkte liegt, nicht
Wasserbläschen,
dern in Wolken,
aus feinen Eisnad
bestehen. Diese wac
durch fortwähren
Ansetzen und Ge
ren von Wasserda
werden schwerer
fallen als Schn
flocken herab. Fä
man in der Kälte
einer Glasscheibe
auf dunklem Pa
Schneeflocken auf

Fig. 471.



betrachtet sie durch ein Vergrößerungsglas, so zeigen sie sämmtlich
Grundform eines sechseckigen Sterns, die zu den verschiedensten re
mäßigen Gestalten ausgebildet ist.

Der Hagel. Für die Entstehung des Hagels, dieser mitten im heißen Sommer in Eiskörner verwandelten Regentropfen, weiß man bis jetzt keine genügende Erklärung. Man vermag weder anzugeben, woher die große Kälte kommt, welche bei beträchtlicher Luftwärme das Wasser gefrieren macht, noch wie es möglich ist, daß die Hagelkörner lange genug in der Luft schweben, um zu solcher Größe anzuwachsen. Die Hagelwolken sind an dem ausgezackten und zerrissenen Aussehen ihrer Ränder und an ihrer weißlichen oder grauröthlichen Färbung zu erkennen; meistens schweben sie sehr niedrig und verursachen eine auffallende Dunkelheit. Der Hagelfall kündigt sich durch ein vorhergehendes, rasselndes Geräusch an, und aufmerksame Beobachter, die in Gebirgsgegenden mitten in eine Hagelwolke geriethen, haben bemerkt, daß die in der Luft schwebenden Hagelkörner in kreisförmiger Bewegung begriffen waren. Nur wenige Minuten pflegt das Hagelwetter zu dauern und mit Sturmeseile über einen schmalen, langen Strich Landes seine verheerenden Wirkungen zu verbreiten. Oft ist dieser Strich nur hundert M. breit und eine oder mehrere Meilen lang; doch bildete der furchtbare Hagelschauer, der im Jahre 1788 über Frankreich zog, zwei von einander getrennte, meilenbreite Streifen von hundert Meilen Länge. Stets wird der Hagelfall von elektrischen Erscheinungen, von Gewitter und Gewittersturm, begleitet.

Die Anwendung der Dämpfe.

§. 377. Die Benutzung des Dampfes zum Kochen, Trocknen und Heizen.

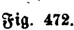
Der durch Sieden gewonnene Dampf läßt eine mehrfache Art der Anwendung zu; man benutzt entweder die Wärme des Dampfes oder seine Rückkehr in den tropfbarflüssigen Zustand oder seine Spannkraft. 1) Beim Kochen und Heizen wird die Wärme des Dampfes benutzt; 2) bei der Destillation zwingt man ihn durch Abkühlung, tropfbarflüssig zu werden, in der Absicht, eine destillirte Flüssigkeit herzustellen; 3) bei der Gebläselampe ist seine Spannkraft wirksam; 4) bei den Dampfmaschinen endlich kommt entweder die Rückkehr des Dampfes in den tropfbarflüssigen Zustand, in der Absicht, einen luftleeren Raum herzustellen, oder seine Spannkraft oder beides zugleich zur Anwendung.

Das Kochen mit Dampf geschieht so, daß man in den unteren Theil des Kochgefäßes Wasser füllt, darüber einen siebartigen Boden anbringt und auf diesen das zu kochende Obst, Fleisch oder Gemüse thut; die Oeffnung des Gefäßes wird fast luftdicht verschlossen, und der Dampf kann nur spärlich entweichen. Ferner benutzt man die gebundene Wärme

des Dampfes, die bei seiner Verwandlung in Tropfen frei wird,
Trocknen leicht entzündlicher Körper, besonders des Schießpulvers, Tab
Malzes und gefärbter Stoffe, auch zum Brennen des Kaffees und
Decatiren des Tuches, das über nassen leinenen Tüchern auf erhitzte E
platten gepreßt und von Dämpfen durchdrungen wird. Bei Einricht
einer Dampfheizung für ein größeres Gebäude wird in dem unter
Theil desselben ein ringsum verschlossener Dampfkessel angebracht, und d
das zu verdampfende Wasser erhitzt; aus dem Kessel gelangt der Da
durch eine weite Metallröhre in die eisernen Dampfröhren, die,
während steigend, durch die zu heizenden Räume geführt sind. Indem
Dämpfe sich in den Röhren zu tropfbarem Wasser verdichten, geben
ihre gebundene Wärme an dieselben ab; das Wasser fließt in den Ke
zu welchem Zwecke die Dampfleitungsröhren etwas schräg gelegt
Die dabei erzielte Ersparung an Brennmaterial kann keineswegs dur
Anwendung des Dampfes erreicht werden; denn so viel Wärme der D
den Röhren mittheilen soll, so viel muß ihm durch das Feuer zuvor
getheilt sein; wohl aber läßt sich, da nur eine einzige große Feuerstätt
unterhalten ist, dieselbe zweckmäßiger anlegen, und dadurch der bei
reichen Feuerstätten eintretende Verlust an Heizungsmaterial verringe
Bekannt sind die russischen Dampfbäder und die Schwitzbäder in
schlossenen Wannen.

§. 378. Die Destillation.

Versuch. In den durchbohrten Kork eines Kochfläschchens, das
Theil mit Branntwein gefüllt worden ist, passe man den kürzeren A
einer an beiden Enden abwärts gebogenen Gasleitungsröhre und stelle
auf einen Dreifuß. Den länge
Arm der Röhre lasse man in
leeres, offenes Porzellan-
Metallgefäß tauchen, das in
kaltem Brunnenwasser steht. E
hitzt man nun die Kochflasche
tels einer Spirituslampe, so ste
Dämpfe empor, gelangen d
die Röhre in das kalt gehalte
Gefäß und werden durch die A
kühlung in demselben wieder t


Fig. 472.

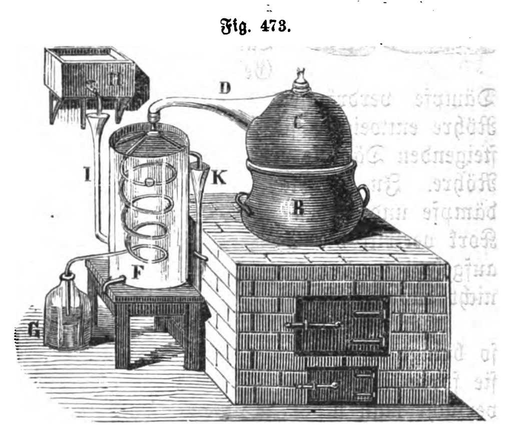


barflüssig. Ist die Hälfte des Branntweins aus der Kochflasche verdam
so entferne man die Lampe und nehme zugleich die Schüssel mit de
Gefäß hinweg. Der Branntwein, ein Gemisch von Spiritus und Wa
ist destillirt worden; ein Theil der Mischung ist durch Verdampfen
dem andern getrennt, und seine Dämpfe sind durch Abkühlung wieder
verdichtet worden, daß er in Tropfen herabfiel (destillare, herabträufe
Wasser und Spiritus verwandeln sich nicht bei derselben Temperatur
Dampf; sondern der Spiritus ist flüchtiger. Es wird daher eine grö

Menge Spiritus und wenig Wasser dampfförmig, und die in dem Glase verdichtete Flüssigkeit ist reicher an Spiritus oder stärker geworden. Durch wiederholte Destillation würde man den Spiritus ganz von dem Wasser trennen können. Bei der Ausführung im Großen erhitzt man das Gemisch in kupfernen Gefäßen und richtet den Apparat so ein, daß die Flüssigkeit entweder zweimal destillirt, oder der Dampf unterwegs etwas abgekühlt, und dadurch der leichter tropfbar werdende Wasserdampf ausgeschieden wird.

Die Zeichnung stellt den gewöhnlichen Destillirapparat dar. Die Destillirblase B wird mit der zu destillirenden Flüssigkeit zum größten Theil gefüllt, alsdann setzt man den Helm CD auf und verkittet ringsum die Fuge zwischen Blase und Helm. Der Dampf sammelt sich im Helm und gelangt durch den Schnabel D desselben in den Kühlapparat. Indem der Dampf innerhalb des Kühlfasses F das Schlangenrohr O durchläuft und so einen langen Weg durch kaltes Wasser zurücklegt, wird er verdichtet und tritt als tropfbarflüssiger Körper durch ein Rohr in die Vorlage G.

Fig. 473.



Unten in das Kühlfaß tritt fortwährend durch die Röhre J kaltes Wasser, das aus dem Wasserbehälter H kommt. Allmählich erwärmt, fließt das Wasser aus dem Kühlfaß in den Trichter bei K, so daß die Flüssigkeit im Kühlapparat nicht zu warm werden kann.

Durch die Destillation lassen sich nicht bloß leichtflüchtige Stoffe von schwerflüchtigen trennen, die zu ihrer Verdampfung eine größere Hitze erfordern, sondern eben so wohl flüchtige Stoffe von nicht flüchtigen. So ist destillirtes Wasser reiner, als Brunnenwasser, und frei von den erdigen und salzigen Theilen, die in dem Destillirgefäß zurückbleiben.

§. 379. Die Gebläselampe oder Aeolipile.

Um stärkere Glasröhren zu biegen, reicht die einfache Spirituslampe nicht aus. In solchen Fällen leistet die Gebläselampe willkommene Dienste. Um sie billig herzustellen, läßt man vom Klempner ein cylinderförmiges Gefäß aus Weißblech, 6 Cm. weit und ebenso hoch, anfertigen; es ist überall verschlossen, und nur der obere Boden erhält zwei Oeffnungen. Auf die eine wird ein kurzes Rohr gelöthet, das sich ganz außerhalb des Gefäßes befindet und zur Aufnahme eines Korks dient. In die andere

Oeffnung des oberen Bodens, nahe seinem Rande, wird eine enge Metall-röhre gelöthet, die nicht in das Gefäß hineinragt, abwärts führt und unten wagerecht umbiegt; ihre Oeffnung muß sehr eng sein. Das so eingerichtete Gefäß der Lampe wird durch die weitere Oeffnung halb mit Spiritus gefüllt und, nachdem sie wieder durch einen passenden Kork verschlossen worden ist, auf einen Dreifuß gestellt, unter dem eine kleine metallene Spirituslampe brennt, die oben ganz offen oder auch mit einem Dochte versehen sein kann. Die Oeffnung der aus dem Gefäß herab führenden Röhre muß gerade vor der Flamme der Lampe liegen. Bald kommt der Spiritus in dem Gefäß zum Sieden, die sich aus ihm entwickelnden Dämpfe verdrängen durch ihre Spannkraft die Luft, die durch die Röhre entweicht; sie selbst aber werden bald durch die nach ihnen aufsteigenden Dämpfe vertrieben und strömen unter einigem Geräusch aus der Röhre. In die Flamme der Lampe tretend, entzünden sich die Spiritusdämpfe und bilden eine lange, wagerechte Flamme von großer Hitze. Der Kork vertritt die Stelle eines Sicherheitsventils und muß nicht allzu fest aufgesetzt werden, damit die zu groß gewordene Spannkraft der Dämpfe nicht das Gefäß sprenge, sondern nur den Kork abwirft.

Fig. 474.



Hat man eine Glasröhre zu biegen, die nicht feucht sein darf, so bringt man sie allmählich an die heißeste Stelle der Flamme und dreht sie fortwährend um, damit das Glas gleichmäßig erwärmt werde. Darauf versucht man unter gelindem Druck, ob das Glas nachgiebt, und biegt es langsam um, wenn dieses der Fall ist. Für die meisten physikalischen Versuche reichen Röhren aus leicht schmelzbarem Glase, von 4 Mm. Durchmesser einschließlich der Glaswände, aus; sie werden von den Mechanikern zu geringem Preise geliefert und gewähren den Vortheil, daß man sie über der gewöhnlichen, einfachen Spirituslampe biegen und zu einer Spitze ausziehen kann. Um eine Glasröhre zu einer feinen Spitze auszuziehen, hält man sie mit beiden Händen wagerecht und erhitzt, indem man in der Flamme die Röhre hin und her schiebt und umdreht, eine nicht zu kurze Strecke derselben; ist diese recht heiß und weich geworden, so zieht man sie mit beiden Händen in die Länge. Nach dem Erkalten ritzt man mit einer dreikantigen Feile die engste Stelle und bricht an derselben die Röhre durch; die Unebenheiten des Bruches und die scharfen Ränder lassen sich entfernen, indem man das enge Ende der Röhre mit wenig Wasser benetzt und unter sehr geringem Druck auf einer feinen Feile hin und her bewegt; je mehr man auf solche Weise abfeilt, desto weiter wird die Oeffnung der Röhre.

§. 380. Die atmosphärischen Dampfmaschinen.

Im J. 1690 erfand der Professor zu Marburg, Dionysius Papin, der sich ursprünglich mit Arzneikunde beschäftigt hatte, später aber sich

Physik und Mechanik widmete, folgende Vorrichtung. In einem unten geschlossenen, oben offenen, kleinen Metallcylinder ließ sich ein luftdicht schließender Kolben auf und ab bewegen; der Kolben war durchbohrt, aber die Oeffnung konnte durch eine Schraube verschlossen werden. Unten in den Cylinder brachte Papin etwas Wasser, schob den Kolben bis an das Wasser hinab und verschloß die Oeffnung des Kolbens. Wurde nun der Boden des Cylinders durch Kohlenfeuer erhitzt, so bewegte sich der Kolben nach oben; es bildete sich unter dem Kolben Dampf, und die Spannkraft desselben bewegte den Kolben. Darauf entfernte Papin das Kohlenfeuer, und der Kolben sank langsam hinab; bei der Abkühlung des Cylinders verdichtete sich der Dampf zu tropfbarflüssigem Wasser, es entstand unter dem Kolben ein luftleerer Raum, und der von oben her wirkende Luftdruck bewegte den Kolben hinab. Papin schlug vor, ähnliche Vorrichtungen in großem Maßstabe auszuführen und zum Treiben von Maschinen anzuwenden. Allein sein Vorschlag fand keine Beachtung, und man sann in England auf andere Vorrichtungen, um mit Hülfe des Dampfes Maschinen zu treiben.

Versuch a. Ein Probircylinder werde behutsam über der Lampe erwärmt, nachdem man in denselben eine sehr geringe Menge Spiritus gegossen hat. Die Flüssigkeit beginnt zu sieden, und der Dampf strömt aus der Oeffnung hervor. Geschieht dies, so wende man den Cylinder um und tauche das offene Ende schnell in ein Gefäß mit Wasser. Da durch den Dampf die atmosphärische Luft aus der Röhre vertrieben ist, und der Dampf durch die Berührung mit dem kälteren Wasser abgekühlt und verdichtet wird, so entsteht in dem Probircylinder ein *luftleerer Raum*, und der *Druck der Atmosphäre* auf die Oberfläche des Wassers treibt es mit beträchtlicher Kraft in denselben; das Wasser steigt in den Probircylinder und füllt ihn fast ganz.

Das ist der von dem Hauptmann *Savery* angestellte Versuch, der ihn auf die Idee führte, durch Verdichtung des Dampfes einen leeren Raum herzustellen und den *Luftdruck als bewegende Kraft* zu benutzen. In einem Wirthshause hatte er sich ein Waschbecken geben lassen, um sich die Hände zu waschen; am Feuer aber lag eine Weinflasche, in der ein wenig Wein zurückgeblieben war, der Wein fing an zu sieden, und aus der Oeffnung der Flasche kam Dampf hervor. Da fiel Savery auf den Gedanken, zu versuchen, was erfolgen würde, wenn er die Flasche umkehrte und ihre Mündung in das Wasser tauchte. Er zog einen Handschuh an, faßte die heiße Flasche, und in dem Augenblicke, in welchem er ihre Oeffnung in das Becken tauchte, drang das Wasser in den Hals der Flasche und füllte sie. Er baute, um das sich in einem Bergwerk sammelnde Wasser fortzuschaffen, 1699 eine Maschine, in welcher der in einem Kessel entwickelte Dampf in eine Röhre strömte, und durch Abkühlung derselben ein leerer Raum hervorgebracht ward, in welchen das Wasser, durch den Luftdruck getrieben, emporstieg. Bald erfuhr diese unvollkommene Vorrichtung eine wesentliche Verbesserung.

Versuch b. Um das untere Ende eines Holzstäbchens schneide man

eine fingerbreite Rinne, umwickle dieselbe mit Werg oder Flachs, das
mit Talg bestrichen hat, und stelle sich auf solche Weise einen Ko
her, der etwas streng in einen Probircylinder paßt. In dem Prob
cylinder, den man des Anfassens wegen oben mit Bindfad
bewickeln kann, bringe man, bevor der Kolben eingeschoben wird,
etwas Wasser in lebhaftes Sieden. Haben die hervordringend
Dämpfe alle Luft aus dem Cylinder vertrieben, so schiebe
den Kolben ein, entferne die Lampe und kühle den Cylinder
ab, indem man ihn mit den benetzten Fingern berührt. Als
wird der Kolben hinabsinken. In dem Cylinder befand
sich nämlich nur Wasserdämpfe, die Luft war durch sie verdr
werden nun die Dämpfe durch Abkühlung verdichtet, so
sich Wasser. 1700 Kubik-Cm. Dampf geben aber nur
Kubik-Cm. Wasser; der Dampf nimmt, sobald er verdi
worden ist, ungefähr den 1700sten Theil des früheren Raum
ein. Unter dem Kolben entsteht folglich ein leerer Ra
Oben aber lastet auf ihm der ganze Druck der Luft, und dieser
der atmosphärischen Luft bewegt den Kolben abwärts. Wie
Kolben wieder hinaufbewegt wird, lehrt einer der folgenden Versuche,
welchen die Vorrichtung aufzubewahren ist.

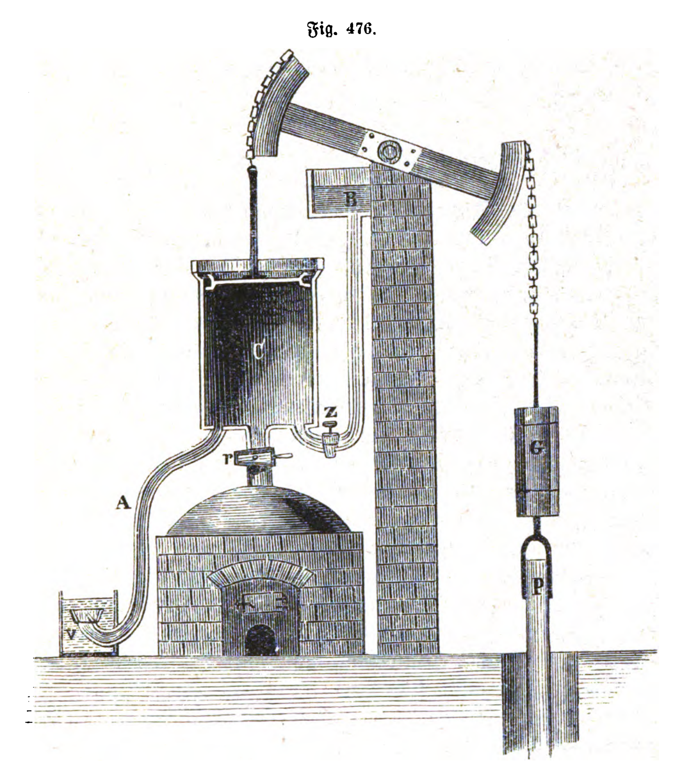
Fig. 475.

Indem er in ähnlicher Weise den atmosphärischen Druck auf
Kolben wirken ließ, vervollkommnete der Engländer Newcomen die E
findung Savery's und gab der **atmosphärischen Dampfmaschine** folg
Einrichtung: In einen passenden Feuerraum war der **Dampfkessel**
gemauert; er bestand aus Eisen, war ringsum verschlossen und diente
Entwickelung des Dampfes. Aus dem oberen Theil des Kessels führt
Röhre, das Dampfrohr, das mit einem Hahn r versehen ist, damit
den Dämpfen abwechselnd den Durchgang gestatten oder verschließen kön
Das Dampfrohr mündet in den unteren Boden eines weiten eiser
Cylinders C, des **Dampfcylinders**, der oben offen ist und der atmosphär
Luft gestattet, von oben auf den Kolben zu drücken, der sich in
Dampfcylinder auf- und niederbewegen soll. Mittels einer Kette h
der Kolben an dem einen Ende eines starken **Wagebalkens** und be
dasselbe bei seinem Niedergange abwärts; an das andere Ende des W
balkens ist ein Gewicht G und die Stange einer Pumpe P befestigt,
durch die Maschine in Bewegung gesetzt werden soll. Gewicht und Pum
stange sind so schwer gearbeitet, daß sie, falls ihnen keine andere Kr
entgegenwirkt, hinabsinken und den Kolben emporziehen.

Befindet sich zuerst der Kolben in dem oberen Theile des Dam
cylinders, so öffnet man den Hahn des Dampfrohrs r und läßt Dam
in den Cylinder, unter den Kolben, treten. Die Luft entweicht, wie na
auch das Wasser, aus dem untern Theile des Cylinders durch eine A
flußröhre A, deren unteres Ende in ein Gefäß mit Wasser mündet
darin durch ein sich nach oben öffnendes Ventil geschlossen wird. Dar
wird der Hahn des Dampfrohres r geschlossen, und kaltes Wasser in
Dampfcylinder gelassen. Das kalte Wasser befindet sich in einem etw

ıöher aufgestellten Wasserbehälter B und fließt in den unteren Theil ıes Dampfcylinders, sobald man den Hahn z der aus dem Wasser=ıehälter führenden Zuflußröhre öffnet. Alsbald werden die Dämpfe ıerdichtet; es entsteht unter dem Kolben ein leerer Raum, und der Luftdruck bewegt den Kolben abwärts. Jetzt muß der Hahn z der Zuflußröhre wieder geschlossen, und der Hahn des Dampfrohrs r geöffnet oerden; es tritt wieder Dampf in den Cylinder und giebt anfänglich seine Wärme an den Cylinder und das in ihm befindliche Wasser ab, bis

Fig. 476.



dasselbe, durch seine Schwere abwärts getrieben, sich das Ventil der Ab=flußröhre A geöffnet hat. Der aus dem Kessel strömende Dampf wirkt kaum stärker, als die atmosphärische Luft, und drückt den Kolben mit derselben Kraft nach oben, mit der die Luft ihn hinabdrückt; die aufwärts gehende Bewegung des Kolbens wird aber durch die Schwere des Gewichts und der Pumpenstange hervorgebracht, welche das andere Ende des Wage=balkens hinabziehen. Somit zieht die Schwerkraft den Kolben wieder empor. In dieser Maschine, die unter dem Namen der atmosphärischen Dampfmaschine noch jetzt zuweilen angewandt wird, wo bedeutende Wasser=mengen ausgepumpt werden sollen, ist der Dampf durchaus nicht als be=

wegende Kraft wirksam, sondern dient nur zur Hervorbringung ein
leeren Raumes, gegen welchen alsdann die Thätigkeit des atmosphärisch
Drucks eintritt.

Ein Knabe, mit Namen Humphry Potter, dem man das Geschä
übertragen hatte, abwechselnd die Hähne der Maschine zu öffnen und
schließen, ersann ein Mittel, die Maschine selbst diese Arbeit verrich
zu lassen. Er band an die Handgriffe der beiden Hähne Schnüre
befestigte sie dergestalt an den Wagebalken, daß dieser bei seiner Bewegu
die Schnüre anzog und den Hähnen die zweckentsprechende Stellung g
So erfand er die **Steuerung**, mit welchem Namen man die Vorricht
bezeichnet, mittels deren die Dampfmaschine selbst ihre Hähne oder Ven
öffnet und schließt.

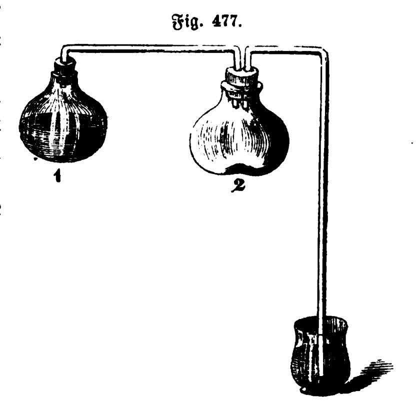
§. 381. Die Erfindung des Condensators durch Watt.

Ihre jetzige Vollkommenheit verdanken die Dampfmaschinen
Mechaniker James Watt. Watt wurde am 19. Januar 1736 in
schottischen Stadt Greenock geboren. Sein Vater besaß dort ein klein
Ladengeschäft und hatte mancherlei Gegenstände zu verkaufen, welche
den Schiffern begehrt wurden. Der Knabe erhielt den ersten Unterr
von seinen Eltern und konnte wegen seiner Schwächlichkeit nur selten
Schule besuchen. Die Naturschönheiten seiner Heimat zogen ihn mäch
an und bewogen ihn, sich den Naturwissenschaften, besonders der Bota
Mineralogie und Chemie, mit großem Eifer zu widmen. Watt be
eine seltene Beobachtungsgabe und erwarb sich frühzeitig eine ungewöh
liche Geschicklichkeit in Anfertigung von mechanischen Vorrichtungen
Instrumenten; so verfertigte er unter anderen eine Elektrisirmaschine
stellte mit ihr die elektrischen Versuche an, so weit sie damals bek
waren. In seinem 19. Jahre trat er bei dem Mechaniker Morgan
London in die Lehre und fertigte Compasse, mathematische und and
Instrumente. Doch schon nach einem Jahre verließ er die Hauptst
Er hatte an einem kalten Wintertage nahe bei der Thüre der Werk
gearbeitet, sich erkältet und sich eine Krankheit zugezogen, gegen we
die Bemühungen der Aerzte längere Zeit erfolglos blieben. Watt fa
Heilung von der Luft seiner Heimat und begab sich nach Glasg
die dortige Universität ernannte ihn zu ihrem Mechaniker. Die Un
versität besaß eine kleine atmosphärische Dampfmaschine, welche bei
Vorlesungen gezeigt wurde, aber nie hatte in Gang gebracht werd
können. Watt erhielt im Jahre 1764 den Auftrag, die kleine Masch
in Stand zu setzen. Es gelang ihm; aber er fand den Verbrauch
Brennmaterial und Dampf im Vergleich zur Leistung der Maschine
fallend groß und erkannte bald, daß dieser Aufwand durch das E
strömen des kalten Wassers in den Dampfcylinder herbeigeführt wurde
Nach jedem Niedergang des Kolbens wurde eine große Menge Dam
verschwendet, um den abgekühlten Cylinder wieder bis zum Siedepunkt
zu erwärmen. Watt richtete seine ganze Aufmerksamkeit auf die E

ıdung eines Mittels, den Dampf zu verdichten, ohne den Cylinder zukühlen.

Ein Versuch führte ihn darauf, den Dampf in einem besonderen efäße zu verdichten. Er hatte eine Flasche (1) zum Theil mit Wasser füllt, leitete aus ihrem durchbohrten Kork eine Röhre durch den Kork ıer andern, leeren Flasche und setzte außerdem diese zweite Flasche durch ıe abwärts führende Röhre von der Länge einer Barometerröhre mit r atmosphärischen Luft in Verbindung. Wurden nun beide Flaschen ıwärmt, so entwickelten sich aus dem Wasser Dämpfe, erfüllten die Flaschen ıd verdrängten die Luft aus der orrichtung. Darauf tauchte er die ıabführende Röhre in ein Gefäß it Quecksilber, die beiden Flaschen er in kaltes Wasser; sogleich wurden e Dämpfe verdichtet, es entstand ein :rer Raum, und der Luftdruck trieb s Quecksilber in der langen Röhre ıpor. Jetzt erwärmte er wiederum ide Flaschen, bis die Dämpfe das uecksilber völlig hinabgedrückt hatten; ıtt aber, wie vorhin, beide Flaschen zukühlen, stellte er nur die eine, eichviel, ob die erste oder zweite, in ltes Wasser, und siehe, die Dämpfe ırden ebenso verdichtet, und das Quecksilber stieg ebenso hoch, wie zuvor. ird ein Theil des mit Dampf erfüllten Raumes kälter, so tritt hier eine erwandlung des Dampfes in Wasser und zugleich die Bildung eines leeren aumes ein; wegen ihres Bestrebens, sich auszudehnen, strömen aber ıgenblicklich Dämpfe herbei, werden ebenfalls kalt und tropfbarflüssig, ıd die ganze Dampfmasse wird durch ihre Spannkraft in schneller Aufnanderfolge in den kalten leeren Raum geführt und darin verdichtet. o hatte Watt das Gesetz gefunden, daß der Dampf in einem ver- ꝫlossenen Raum die Form annimmt, welche dem kältesten heile desselben entspricht.

Fig. 477.



Die Abkühlung des Dampfcylinders läßt sich also dadurch vermeiden, ıß man die Dämpfe in einem besonderen, mit ihm verbundenen efäße verdichtet. Daher brachte Watt 1765 in der Dampfmaschine s eine wesentliche Verbesserung ein ringsum verschlossenes Metallgefäß :m Verdichten oder Condensiren des Dampfes, den Condensator, an. erselbe steht in einem Behälter mit kaltem Wasser. Durch eine Seitenıhre spritzt es in den Condensator ein und wird sammt der in ihm entıltenen Luft durch eine Pumpe, welche die Luftpumpe heißt, wieder rtgeschafft.

§. 382. Die Einführung des Dampfes als bewegende Kr

Versuch. Man halte den für Versuch §. 380. b mit einem K
versehenen Probircylinder, in welchem nach Verdrängung der Luf
Kolben seine tiefste Stellung, unmittelbar über dem Wasser, eingeno
hat, über die Spirituslampe. Es entwickeln sich Dämpfe und be
durch ihre Spannkraft den Kolben empor; sie wirken hier als
wegende Kraft mit einer Spannkraft, die nur wenig größer ist, als
Luftdruck, der oben auf dem Kolben lastet. Ihre Leistung besteh
nur in der Ueberwindung des Luftdrucks; soll eine andere Arbeit ge
werden, so müßte über dem Kolben ein luftleerer Raum hergestellt wer
In der angegebenen Vorrichtung kann man übrigens wiederholt bei
kühlung des Dampfes den Kolben durch den Luftdruck hinabbewegen
und durch die Spannkraft der Dämpfe wieder emportreiben.

Die zweite Verbesserung, welche Watt an der Dampfmaschine
nahm, bestand darin, daß er zur Bewegung des Kolbens nicht mehr
Luftdruck, sondern die Spannkraft des Dampfes benutzte. Er beme
daß bei jedem Niedergange des Kolbens durch die von oben her in
Dampfcylinder eindringende Luft dessen Temperatur vermindert w
und nachher durch den Dampf erst wieder erhöht werden mußte, der
zum Theil tropfbarflüssig ward. Um diese Verschwendung an Dampf a
stellen, verschloß Watt die obere Oeffnung des Dampfcylinders mit ei
luftdichten Deckel und ließ die Kolbenstange durch eine darin befe
Stopfbüchse gehen, welche mit fettig erhaltenem und gegen die Kolb
stange gepreßtem Hanf und Werg angefüllt wird und dem Dampfe kei
Durchgang gestattet. Unter den Kolben trat nun der Dampf und br
ihn durch seine Spannkraft zum Niedergehen, während unter ihm d
Verdichtung des Dampfes ein leerer Raum hergestellt ward. Durch d
wichtige Aenderung wurde die Maschine erst eine Dampfmaschine im vo
Sinne des Wortes; denn während der Dampf in der atmosphärischen Masch
nur als ein Mittel zur Herstellung eines leeren Raumes diente, trat
in der Watt'schen Maschine zugleich als bewegende Kraft auf.

In seiner bedrängten äußeren Lage sah sich Watt genöthigt,
Versuche mit den geringsten Mitteln anzustellen, und erst die Unterstütz
eines unternehmenden Freundes, mit Namen Röbuck, setzte ihn in
Stand, für ein Kohlenbergwerk in Schottland eine Maschine zu bau
welche nach und nach verbessert ward und zu bedeutender Vollkommenh
gelangte. Durch einen erheblichen Vermögensverlust seines Freund
wiederum aller Geldmittel beraubt und nahe daran, seine Entwürfe a
zugeben, erhielt Watt 1775 an Boulton, der nicht lange vorher
Soho bei Birmingham eine Fabrik angelegt hatte, für seine Unternehmunge
einen reichen und gewandten Theilnehmer, der es verstand, der neuen Er
findung Eingang zu verschaffen. Sie richteten in Soho eine Maschine
fabrik ein, und bald fingen ihre Dampfmaschinen an, gesucht zu werden
Im Jahre 1800 setzten Watt und Boulton sich zur Ruhe und über

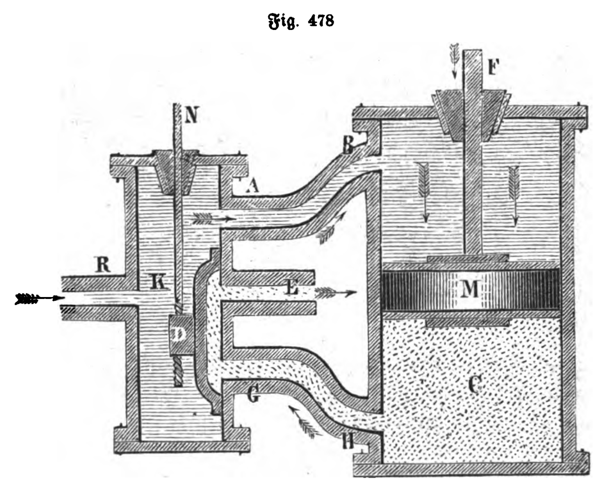
ugen die Leitung ihrer Fabrik ihren Söhnen; Watt lebte noch bis zum
ahre 1819.

. 383. Die doppelt wirkende Maschine und die Schiebersteuerung.

Bei **Watt's** ersten Maschinen wirkte der Dampf mit seiner Spann-
aft stets nur über dem Kolben und bewegte ihn hinab, während die
nter dem Kolben befindlichen Dämpfe immer nur dazu dienten, durch
re Verdichtung im Condensator einen leeren Raum zurückzulassen. Die
laschine war also nur, wie die atmosphärischen Maschinen, beim Nieder-
ang des Kolbens wirksam; das Emporsteigen desselben wurde durch
n Gewicht bewirkt, das an dem entfernten Ende des Wagebalkens hing.
.us dieser einfach wirkenden machte Watt in der Folge doppelt
irkende Maschinen, in denen die Spannkraft des Dampfes den Kolben
wohl hinab, als hinauf bewegt, während gleichzeitig entweder unter oder
ber dem Kolben ein leerer Raum hergestellt wird.

Es war eine Vorrichtung nöthig, um den frischen Dampf aus dem
'essel bald über, bald unter den Kolben, und gleichzeitig den verbrauchten
)ampf von der andern Seite des Kolbens in den Condensator zu leiten.
)ie Vorrichtung, welche dies leistet, ist die **Schiebersteuerung**, welche sich
iit mehrfachen Abänderungen in allen Dampfmaschinen findet. Der Dampf
elangt aus dem
'essel nicht un-
iittelbar in den
)ampfcylinder, son-
ern tritt aus dem
)ampfrohr R zu-
rst in einen ver-
hlossenen Behälter,
en Dampfkasten
der die Dampf-
ammer K, dicht
eben dem Cylinder
'. In den Cylinder
ühren aus der
)ampfkammer zwei
)ampfwege A B und
; H, der eine nahe
einem oberen, der

Fig. 478



.ndere nahe dem unteren Boden; außerdem steht die Dampfkammer durch
ine Röhre E mit dem unterhalb des Dampfcylinders angebrachten, in der
Zeichnung nicht dargestellten, Condensator in Verbindung. In der Dampf-
ammer befindet sich das Schieberventil D, das als der wichtigste Theil
er Schiebersteuerung dazu dient, den aus dem Kessel kommenden Dampf auf
ie eine Seite des Kolbens zu leiten und gleichzeitig dem zu verdichtenden
Dampf auf der andern Seite des Kolbens den Weg nach dem Condensator zu

öffnen. Das Schieberventil D, von seiner Gestalt auch Muschelschieber gen
ist ein hohler Kasten, der nur auf der dem Dampfcylinder zugekehrten S
(nach rechts) offen ist und hier genau an die Wand der Dampfka
anschließt. Die Figur 478 zeigt die untere, Figur 479 die ob
Hauptstellung des Schieberventils. Hat es seine untere Stellung,
ist erstlich der obere Dampfweg AB aus der Dampfkammer nach
Cylinder frei, und der frische Dampf aus dem Kessel nimmt seinen
durch das Dampfrohr R, die Dampfkammer K, den Dampfweg AB
tritt über den Kolben M. Zweitens verbindet der Schieber in
unteren Stellung den unteren Dampfweg GH mit dem mittleren E,
er verbindet den unteren Theil des Dampfcylinders C mit dem Con
stator, in welchen von E aus eine Röhre führt. Der zu verdich
Dampf gelangt also aus dem unteren Theil des Cylinders C durch
Schieber in den Condensator. Wenn der Schieber seine untere Ste
einnimmt, bewegt sich der Kolben des Dampfcylinders nach unten.

In Figur 479 dagegen hat das Schieberventil seine obere Stellu
Dann ist erstlich der untere Dampfweg GH frei; der frische D
gelangt aus d
Dampfkessel dur
R, K, GH un
den Kolben
Dampfcylinders
treibt ihn em
Zweitens stellt
Schieberventil
seiner oberen St
lung die Verbi
dung zwischen
oberen und
mittleren Dam
wege, zwischen A
und E, oder zwi
dem oberen Th
des Dampfcylin

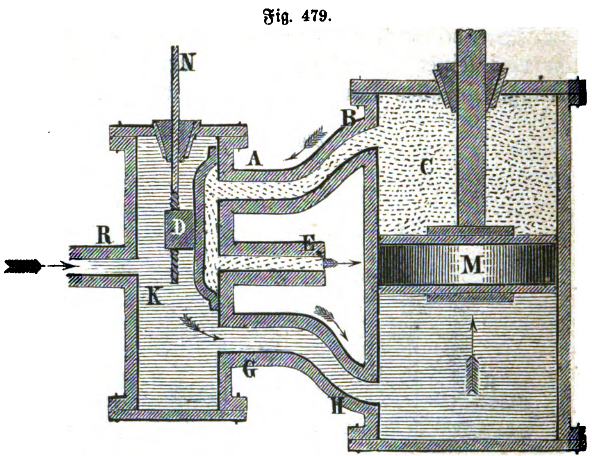


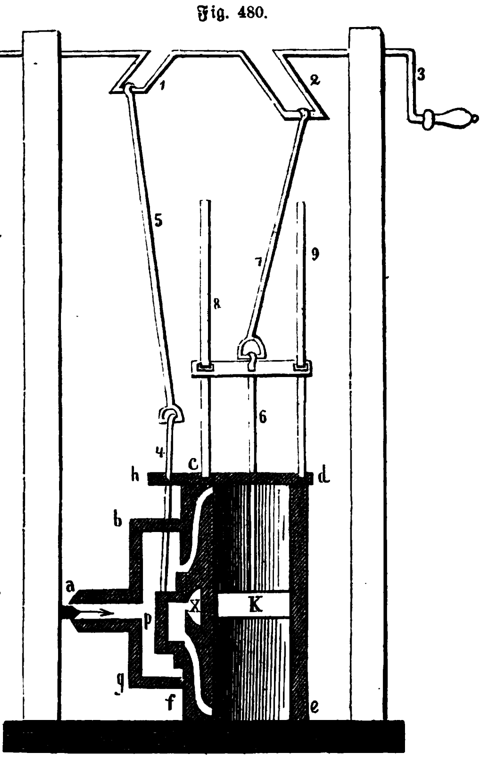
Fig. 479.

und dem Condensator her; der Dampf über dem Kolben gelangt in
Condensator, wird verdichtet und stellt der Bewegung des Kolbens
nach oben kein Hinderniß mehr entgegen.

Leicht kann man ein Modell der Schiebersteuerung anfertigen. M
giebt einem dünnen Brette die Gestalt abcdefg; die diesen Raum
schließenden Wände, sowie die Zwischenwand cf stellt man durch Le
dar, die man auf das Brett leimt. a ist das Dampfrohr; bg ist
äußere Wand der Dampfkammer; cdef der Dampfcylinder. Im de
selben bewegt sich ein Brettchen k, der Kolben. Im Dampfkasten
sich der Muschelschieber p verschieben, den man nach der Zeichnung
Holz oder Pappe machen kann. Nach der Zeichnung gelangt der fri
Dampf durch den oberen Kanal über den Kolben; der Dampf unter de

Kolben entweicht durch den unteren Kanal in den Kasten des Schiebers
ınd durch den mittleren Kanal x in den Condensator. Man thut wohl,
iese Kanäle erst dann vertieft einzuschneiden, wenn das ganze Modell fertig
st, und sich nach den Stellungen zu richten, welche dann der Schieber p
nnimmt. Das Innere des Cylinders und der Dampfkammer kann man
nit schwarzem Papier, die hervortretenden Stellen weiß bekleben, die Kanäle
agegen schwarz darstellen. Bewegt werden Kolben und Schieber durch die
Kurbeln 1 und 2. Ein Draht ist so gebogen, daß er diese beiden
Kurbeln bildet, die rechtwinklig zu einander stehen,
nd von denen die größere
wagerecht steht, wenn
ie kleinere 1 lothrechte
Richtung hat. Die Kurbel
ur Bewegung des Schiebers
st klein, die für den Kolben
hat die halbe Länge
er Kolbenstange 6. Die
us Draht gemachte, oben
u einer Oese umgebogene
Kolbenstange ist so lang,
ls der Dampfcylinder cdef
och ist; sie geht oben durch
ie aufgeleimte Leiste hcd;
ben in diese Leiste sind zwei
othrechte Drähte 8 und 9
efestigt; dieselben bilden
ine Geradführung für
ie Kolbenstange; der wagerecht
an die Kolbenstange
efestigte hölzerne Querstab
st an beiden Enden durchbohrt
und gleitet an den
Stäben 8 und 9 senkrecht
uf und nieder. Die Bläuelstange
7, die aus Holz gemacht
wird, ist gegen dreimal so lang zu nehmen, als die Kolbenstange;
ie erhält, wie die Bläuelstange Nr. 5, unten zwei durchbohrte Arme,
ım mittels eines Drahtstiftes die Kolbenstange einzuhängen. Den Dampfcylinder
befestigt man unten auf ein Brett, stellt auf dasselbe zwei Säulen
ınd legt dann in die Durchbohrungen derselben den Draht, der die Kurbeln 1
ınd 2 bildet. Biegt man diesen Draht beliebig noch zu einer dritten Kurbel 3,
o läßt sich durch Umdrehen derselben die Bewegung des Kolbens und Schiebers
bewirken. Statt der Kurbel 1 und ihrer Bläuelstange kann eine excentrische
Scheibe mit ihrer Stange (§. 384. e) angebracht werden.

Fig. 480.

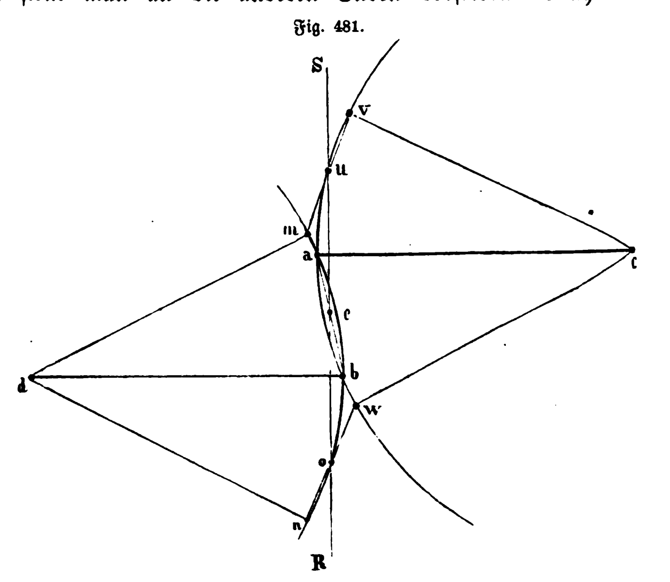


§. 384. Die Zwischenmaschinen an der Watt'schen Dampfmasch[illegible]

a. Das Watt'sche Parallelogramm. In den unvollkommenen [illegible]schinen, die nur beim Niedergange des Kolbens wirkten, hing der K[illegible] mittels einer Kette an dem einen Ende des Wagebalkens und zog [illegible] hinab. Bei der doppelt wirkenden Maschine, welche auch beim Er[illegible]steigen des Kolbens den Wagebalken in Bewegung setzen sollte, [illegible] der Kolben auf eine andere Weise an den Wagebalken angreifen. [illegible] konnte aber nicht unmittelbar mit ihm verbunden werden; denn das E[illegible] des Wagebalkens hat eine in Kreisbogen auf- und absteigende [illegible]wegung und entfernt sich von der senkrechten Linie bald nach der re[illegible] bald nach der linken Seite. Die Kolbenstange muß aber durchaus [illegible] gerader, lothrechter Linie auf- und niedersteigen und würde [illegible] wechselnd nach rechts und links gezerrt, in Kurzem die Stopfbüch[illegible] Deckel des Dampfcylinders so schadhaft machen, daß der Dampf [illegible] hervorströmte, und die Bewegung des Kolbens aufhörte. Es war [illegible] die Aufgabe, eine auf- und niedersteigende geradlinige Bewegung in [illegible] auf- und niedersteigende Bogenbewegung zu verwandeln.

Versuch. Man nehme drei Drähte ac, bd und ab und schiebe [illegible] Enden der beiden ersten in wagerechter Richtung durch die Korke c und [illegible] Darauf stecke man an die anderen Enden derselben Drähte die K[illegible]

Fig. 481.

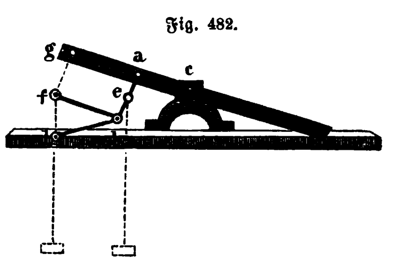


a und b, die man im Mittelpunkt nach der von dem beobachtenden [illegible] abgewandten Richtung durchbohrt hat, um den dritten, zweimal [illegible]winklig umgebogenen Draht ab mit hinreichendem Spielraum au[illegible]nehmen. Die Drahtstrecken ac und bd erhalten genau gleiche Länge, [illegible]

Mitte e von dem Drahte ab kann durch ein übergeschobenes Korkstückchen bezeichnet, und die Korke c und d auf der von dem Auge abgewandten Seite mit kurzen Stiften versehen werden. Hält man nun diese Korke c und d mit ihren Stiften gegen eine lothrechte Fläche oder Platte und dreht die ganze Vorrichtung um dieselben als festliegende Axen, so bewegt sich der Endpunkt a in einem Kreisbogen, wie jeder Punkt des Wagebalkens an der Dampfmaschine; aber auch der Punkt b bewegt sich durch einen ebenso großen Bogen. So viel a beim Emporsteigen von der senkrechten Linie nach rechts abweicht, so viel weicht b nach links ab; der Draht ab dreht sich dabei um seine Mitte e, die lothrecht in gerader Linie emporsteigt. Hat ca wagerechte Stellung, so hat die ganze Vorrichtung die Stellung ca, ab und bd; nimmt die Stange ca die höchste Stellung cv ein, so hat der ganze Mechanismus die Stellung cv, vm und md; bei der tiefsten Stellung haben die Stangen die Stellungen cw, wn und nd. e, u und o bezeichnen für diese Stellungen die Mitte der Stange ab; die Punkte e, u, o liegen in der lothrechten, geraden Linie SR. Leicht kann man die Vorrichtung so halten, daß sich dieser Punkt e längs einer auf der Platte gezogenen lothrechten Linie bewegt. Wäre nun a ein Punkt an dem Wagebalken der Dampfmaschine, der sich um c dreht, so würde eine in e angreifende Stange lothrecht auf- und niedergehen und den Wagebalken durch auf- und niedersteigende Bogen führen.

In der Zeichnung 482 finden wir in ac, dem vierten Theil von der Länge des Wagebalkens, in der ebenso langen Stange bd, deren eine Axe d von dem Gerüst der Dampfmaschine getragen wird, und in der Verbindungsstange ab die Grundlage des Watt'schen Parallelogramms wieder. Die Mitte der Verbindungsstange e ist der Punkt, an den eine lothrechte Kolbenstange mittels einer um e drehbaren Axe angreifen muß, damit sie stets in lothrechter Stellung bleibe. An der Maschine sind jedoch vor allen zwei Kolbenstangen, bei denen dies nöthig ist, die Kolbenstange des Dampfcylinders und die der Luftpumpe, welche Luft und Wasser aus dem Condensator pumpt. Während nun Watt die Stange der Luftpumpe in dem Punkte e angreifen ließ, verband er mittels wagerechter Axen noch zwei Stangen mit der erdachten Vorrichtung, von denen bf ebenfalls die Länge von dem vierten Theil des Wagebalkens, und fg die Länge von ab hat, und erweiterte sie dadurch zu einem Viereck mit parallelen Seiten, das den Namen des Watt'schen Parallelogramms führt. Der Punkt f bewegt sich darin parallel mit dem Punkte e und steigt ebenfalls lothrecht auf und ab, legt aber einen doppelt so großen Weg zurück. An den Punkt f ließ er darum die Kolbenstange des Dampfcylinders angreifen.

Fig. 482.



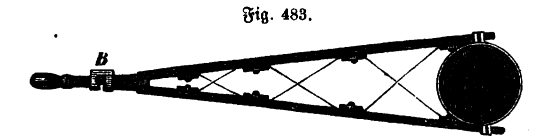
b. Der Krummzapfen. Mit Hülfe des Watt'schen Parallelogram
setzt die Kolbenstange den Wagebalken oder Balancier in auf- und nie
gehende Bewegung. Diese muß aber, da die meisten Arbeitsmaschi
eine drehende Bewegung erheischen, noch in die Radbewegung verwan
und darum an dem andern Ende des Wagebalkens eine Bläuelstange
gebracht werden, die einen Krummzapfen dreht (§. 52).

c. Das Schwungrad. Die Bewegung des Kolbens ist unregelm
und wird am langsamsten, wenn er sich dem oberen oder unteren E
des Dampfcylinders nähert; außerdem führt die Anwendung des Kru
zapfens (§. 56) eine Ungleichmäßigkeit der Bewegung herbei. De
brachte Watt an der Hauptwelle ein Schwungrad an (§. 57).

d. Der Centrifugalregulator. Nur unter zwei Bedingungen
die durch das Schwungrad erreichte Gleichmäßigkeit der Bewegung
erstens, wenn der Dampfzufluß aus dem Kessel gleichförmig ist,
zweitens, wenn die Maschine stets dieselbe Arbeit zu leisten hat.
der Dampfzufluß reichlicher, so wird die Bewegung des Kolbens beschleun
und der Umschwung des Schwungrades nach und nach schneller. Eben
nimmt bei gleichmäßigem Dampfzufluß die Geschwindigkeit zu, wenn
bewegenden Kraft eine kleinere Arbeit übertragen wird, oder ein gering
Widerstand entgegentritt. Es muß daher der Dampfzufluß nach
hältniß der zu leistenden Arbeit regulirt werden, so daß bei zunehmen
Geschwindigkeit der Maschine der Dampfzufluß vermindert wird, und u
gekehrt. Diesen Zweck erfüllt der Centrifugalregulator auf die in §.
auseinandergesetzte Weise; er erhält seine Bewegung von der Axe
Schwungrades durch zwei Kegelräder.

e. Die excentrische Scheibe. Gewöhnlich richtet man die äuß
Steuerung so ein, daß die Bewegung des Schieberventils durch e
excentrische Scheibe (§. 55) bewirkt wird. An die Axe des Schwun
rades ist eine kreisförm
Scheibe so befestigt, daß
Axe nicht durch ihren Mi
punkt geht; während sie
umdreht, liegt daher
größte Theil der Sch
bald links, bald rechts von der Axe. Um den Umfang der Scheibe ist
verschiebbarer Ring gelegt, welcher mittels einer Stangenverbindung,
Schub- oder Excentrikstange, bei B in einen Hebel eingreift.
Hebel dreht sich und bewegt die Stange des Schieberventils.

Fig. 483.

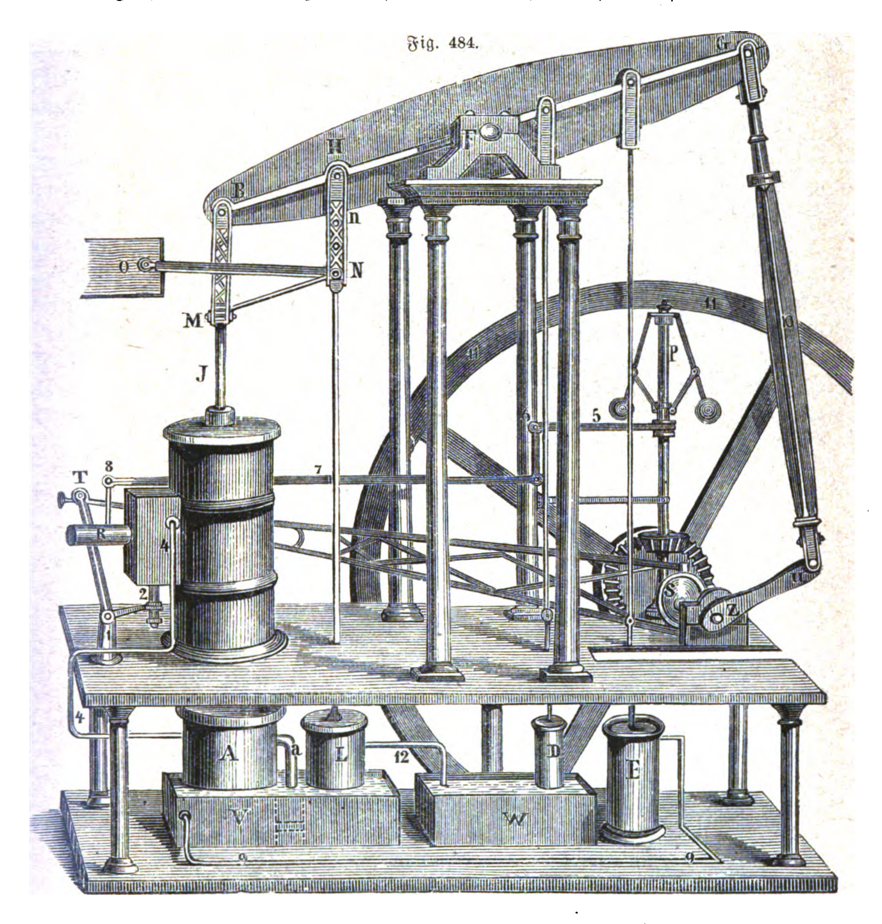


§. 385. Ueberblick über die Watt'sche Dampfmaschine.

Suchen wir in der Abbildung der Watt'schen Dampfmaschine (Fig. 4
die uns schon bekannten Theile derselben auf, so führt aus dem n
dargestellten Dampfkessel das Dampfrohr R in die Dampfkammer,
welcher sich das Schieberventil bewegt. Nr. 2 ist die Stange
Schieberventils, die dampfdicht durch den unteren Boden der Dampfkam

eführt ist; die excentrische Scheibe S an der Hauptwelle der Maschine ewegt die Stange ST, die bei T in den Winkelhebel T 1 2 greift und urch ihn die Stange des Schieberventils 2 auf und nieder bewegt. Unter em Dampfcylinder C ist der Condensator A aufgestellt, er ist durch ine Röhre Nr. 4 in Verbindung mit der Dampfkammer und steht in inem größeren, viereckigen Kasten, der Cisterne, die stets mit kaltem

Fig. 484.



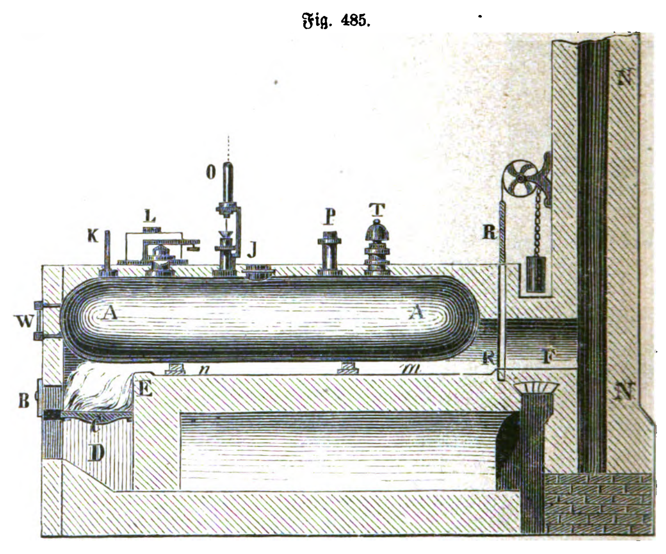
Wasser gefüllt erhalten wird, wogegen das warm gewordene Wasser durch eine Röhre abfließt.

Das kalte Wasser schafft die Kaltwasserpumpe E herbei; das untere Ende ihres Pumpenrohrs reicht in einen Brunnen hinab, ihre Pumpenstange ist oben an den Balancier befestigt und wird durch ihn bewegt; Nr. 9 ist die Röhre, die aus der Pumpe nach der Cisterne führt. Aus der Cisterne führt eine Röhre mit einem siebartig durchlöcherten Kopf in

den Condensator und läßt das kalte Wasser in fein zertheilten Stra
in ihn eintreten, sobald er luftleer gemacht ist. Die Luft aber, so
das eingeströmte Wasser aus dem Condensator zu schaffen, ist die Aufga
der Condensator- oder Luftpumpe L, einer sorgfältig gebauten Sau
pumpe, die unten durch eine Seitenröhre mit dem Condensator comm
nicirt, und deren Pumpenstange oben an das Watt'sche Parallelogram
gehängt ist, damit sie genau lothrecht auf- und niedergehe. Das du
die Luftpumpe aus dem Condensator geförderte Wasser hat in demselb
dem Dampfe seine Wärme genommen und ist dadurch erwärmt word
nun wird fortwährend in dem Kessel Wasser verdampft, und es ist nöth
ihm von Neuem Wasser zuzuführen; dazu eignet sich das erwärm
Condensatorwasser, dessen Wärme nutzlos verloren ginge, wenn man
sämmtlich ins Freie ausströmen ließe. Darum giebt man der Masch
eine dritte Pumpe, die Warmwasser- oder Speisepumpe D, die
Dampfkessel mit warmem Wasser zu speisen hat. Ihr Rohr taucht
einen Behälter hinab, dem die Luftpumpe das warme Wasser zugefüh
hat; von hier schafft die Speisepumpe das warme Wasser mittels ein
Röhre in den Dampfkessel.

Der Dampfkessel wird aus zusammengenieteten Platten von starke
Eisenblech gefertigt; er hat gewöhnlich die Gestalt eines wagerecht liegend
Cylinders, der an beiden Enden durch Halbkugeln geschlossen ist. D
Durchmesser eines solchen Cylinderkessels A in Fig. 485 beträgt hö

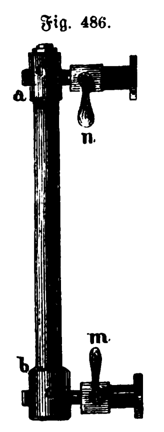
Fig. 485.



stens 1,25 M.; seine Länge das Fünffache bis Siebenfache des Durch
messers. B ist die durch eine eiserne Thür verschließbare Heizöffnung
durch dieselbe wird das Brennmaterial auf den aus eisernen Stäben zu
sammengesetzten Rost C gebracht; unter dem Rost ist der Aschenfall D

Damit die Flamme genöthigt werde, den Kessel besser zu bestreichen, tritt unter dem Kessel bei E das Mauerwerk an den Kessel näher heran. Die Flamme und die erhitzte Luft ziehen durch den Feuercanal nm und die Röhre F, den sogenannten Fuchs, in den Schornstein NN. Zur Regulirung des Luftzuges dient der Schieber RR, das Feuerregister, das durch ein Gewicht in Schwebe gehalten wird.

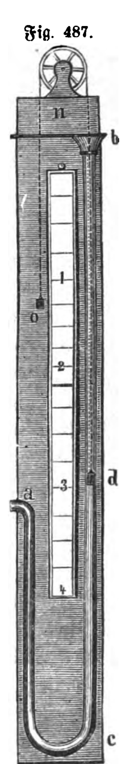
Fig. 486.



An dem Kessel sind mehrere Vorrichtungen angebracht, theils um ihn mit der erforderlichen Wassermenge zu speisen, theils um dem Springen des Kessels bei etwa zu groß gewordener Spannkraft des Dampfes vorzubeugen. Folgendes sind die wichtigsten dieser Vorrichtungen.

1. Die beiden Probirhähne sind in den Kessel hineinreichende Röhren, die außerhalb desselben durch Hähne verschlossen sind. Die Röhre des oberen Hahns, des Dampfhahns, reicht nicht ganz bis zum Normalstand des Wassers hinab; die Röhre des Wasserhahns dagegen taucht mit ihrer Oeffnung ins Wasser, falls dieses hoch genug steht. Dann strömt aus dem geöffneten Dampfhahn Dampf, und aus dem unteren Hahn Wasser. Steht das Wasser im Kessel zu hoch, so strömt aus beiden Hähnen Wasser, und steht es zu tief, aus beiden Dampf.

Fig. 487.



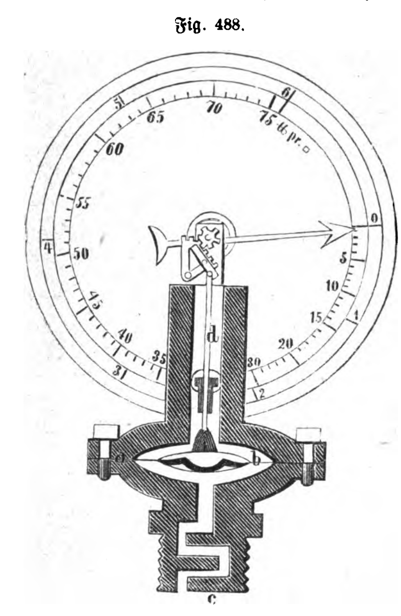
2. Das Wasserstandsrohr (Fig. 486) ist eine lothrechte Röhre ab aus starkem Glase, außerhalb des Kessels. Sie ist oben und unten in Metallröhren gekittet, von denen die obere mit dem Dampf, die untere mit dem Wasser im Kessel communicirt. So hoch das Wasser im Kessel steht, so hoch steht es auch in dem Wasserstandsrohr (§. 81).

3. Das Quecksilbermanometer (Fig. 487). Um die Spannkraft des Dampfes im Kessel zu messen, befestigt man in die Seitenwand desselben eine heberartig gebogene, oben offene, eiserne Röhre acb, welche unten mit Quecksilber gefüllt und mit einer Eintheilung in halbe Zolle oder Cm. versehen ist. Steht das Quecksilber in beiden Armen der Röhre gleich hoch, so ist der Druck des Dampfes gerade ebenso groß, wie der Druck der von oben her drückenden Atmosphäre; stände das Quecksilber in dem längeren Arme 76 Cm. höher, so wäre die Spannkraft des Dampfes doppelt so groß, als der Druck der Atmosphäre (§. 117), er hätte eine Spannkraft von zwei Atmosphären. Erreicht der Dampf bei zunehmender Hitze eine Spannkraft, welche gefährlich werden könnte, so wirft er alles Quecksilber heraus und strömt aus. In das Quecksilber im längeren Arm taucht ein Eisenstück, von diesem führt eine seidene Schnur hinauf, geht oben über eine Rolle

und auf der andern Seite derselben hinab. Hier unten an der Schn hängt ein Gewicht vor der Scala und zeigt an, wie groß der Druck des Dampfes ist.

4. Außer dem Quecksilbermanometer wird häufig ein Zeigermanometer (Fig. 488) angewandt. In den oberen Theil des Dampfkessels ist in lothrechter Stellung eine unten und oben offene Röhre von Gußeisen eingeschraubt, die sich in der Mitte zu einem ellipsenförmigen Raum erweitert. In der Mitte dieser Erweiterung ist eine stählerne elastische Platte ab befestigt, welche dem bei c in die Röhre eintretenden Dampfe den Weg versperrt. Je stärker die Spannkraft des Dampfes wird, desto mehr biegt er die elastische Stahlplatte nach oben hin. Eine an die Mitte der Platte befestigte lothrechte Stange d bewegt ein über der Röhre angebrachtes gezahntes Rad oder, wie in der Figur, einen mit Zähnen versehenen Theil eines Rades. Die Zähne greifen in ein Getriebe und die Axe des Getriebes trägt einen Zeiger vor einer eingetheilten Kreisscheibe. Die Eintheilung ist so gemacht, daß der Zeiger, den die Bewegung der Stahlplatte in Bewegung setzt, den Druck des Dampfes auf jedes Quadrat=Cm. nach Klgr. und nach Atmosphären anzeigt.

Fig. 488.



5. Die Sicherheitsventile. Vor allen Dingen muß der Kessel mit Sicherheitsventilen versehen werden. Sie werden so eingerichtet, wie ihr Erfinder Papin sie an dem Papinschen Topfe (§. 366) angebracht hat; nur muß die Oeffnung weit größer sein. Meistens werden zwei Sicherheitsventile angebracht, und das eine unter Verschluß gehalten, damit es den Arbeitern nicht zugänglich sei. Bei zu großer Spannkraft öffnet der Dampf sich die Ventile und strömt aus; der Arbeiter öffnet das Sicherheitsventil, wenn die Maschine still stehen soll.

Die meisten Explosionen von Dampfkesseln sind einer zu großen Belastung des Sicherheitsventils und einer unrichtigen Speisung des Kessels zuzuschreiben. So trat eine furchtbare Explosion des Dampfkessels in einer englischen Fabrik ein in Folge der Unvorsichtigkeit eines Arbeiters, der sich auf das Sicherheitsventil setzte und seinen Genossen den Anblick der schaukelnden Bewegung bieten wollte, in die er, nach seiner Aussage, versetzt werden würde, wenn der Dampf mächtig genug geworden wäre, um ihn empor zu heben. Das Ventil konnte sich nicht öffnen, der Kessel zersprang, und die Stücke tödteten und verwundeten eine große Anzahl Menschen. — In der

Speisung des Dampfkessels vernachlässigt, und zu wenig Wasser darin, so wird ein Theil der dem Feuer ausgesetzten Kesselwände entblößt und zu stark erhitzt; der Kessel aber liefert zu wenig Dampf, die Maschine geht langsamer, und der Arbeiter verstärkt das Feuer und zugleich das Uebel. Der Kessel kommt ins Glühen und verliert dadurch seine Festigkeit; er wird mit hinzukommendem Wasser gespeist, und nun beginnt eine so stürmische Dampfentwickelung, daß der Kessel zersprengt wird, selbst wenn das Sicherheitsventil sich öffnet. In einer Brennerei zu Edinburg war ein mit zwei Sicherheitsventilen versehener großer Dampfkessel in Wirksamkeit gesetzt und wurde schon am zwölften Tage durch eine Explosion zertrümmert; der obere, 7000 Klgr. schwere Theil des Kessels durchbrach emporsteigend das gemauerte Gewölbe der Werkstatt und erhob sich noch 20 M.; beim Niederfallen schlug er ein zur Brennerei gehörendes Gebäude ein und zertrümmerte einen großen gußeisernen Behälter im Erdgeschoß desselben. Wahrscheinlich war das Ereigniß durch einen zu niedrigen Wasserstand im Kessel herbeigeführt worden; der untere, stark gewölbte Theil war von Wasser entblößt und glühend geworden und hatte zuerst einen Riß erhalten, wobei das umhergeworfene Wasser mit den fast glühenden Stellen in Berührung kam.

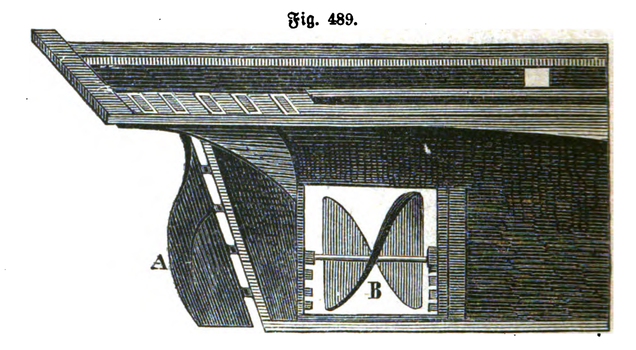
Das Wasser setzt im Kessel stets einen Niederschlag ab, der sich allmählich zu einer steinartigen Rinde, dem sogenannten Pfannenstein oder Kesselstein, verhärtet. Hierdurch wird die Erwärmung des Wassers erschwert, und der Boden des Kessels, wo ihn das Feuer trifft, in kurzer Zeit zerstört, weil er eine weit höhere Temperatur annimmt, als wenn ihn das Wasser unmittelbar berührte. Man sucht deshab die Entstehung dieses Bodensatzes durch Kohlenpulver, Syrup, Kartoffeln zu verhüten und bringt eine fest zu verschließende Oeffnung in dem Kessel an, um hineinsteigen und ihn reinigen zu können.

Nach dem Muster der Watt'schen Maschine werden nicht nur die meisten feststehenden Dampfmaschinen für Fabriken und Dampfmühlen gebaut, sondern auch die Maschinen der **Dampfschiffe.** Dionysius Papin war der Erste, welcher 1690 vorschlug, an einem Schiffe Schaufelräder anzubringen und diese durch eine Dampfmaschine in Bewegung zu setzen. Im J. 1707 führte er selbst seinen Vorschlag aus und baute ein Dampfboot, auf welchem er von Kassel aus die Fulda und die Weser hinabfahren wollte. Er gelangte glücklich bis Münden; aber dort versagte man ihm die Erlaubniß, weiter zu fahren, und sein Boot wurde durch Schiffer zertrümmert. Ob die von ihm angewandte Dampfmaschine eine Newcomen'sche, atmosphärische war oder eine andere Einrichtung hatte, ist ungewiß. Der Nordamerikaner Robert Fulton, der im Jahre 1807 das erste große Dampfschiff erbaute, nahm dazu eine von Watt und Boulton gefertigte Maschine von zwanzig Pferdekräften. Fulton war 1765 in Pennsylvanien geboren und wurde Mechaniker; bei einem Aufenthalt zu Paris erhielt er durch den Gesandten seines Landes die Mittel, um ein kleines Dampfboot zu bauen. Dasselbe wurde im Jahre 1803 vollendet und machte seine Probefahrt auf der Seine mit aus-

reichender Geschwindigkeit. Weil man sich aber in Europa für die Erfindung wenig interessirte, kehrte Fulton in seine Heimat zurück, fand dort ausreichende Unterstützung und erbaute 1807 zu New-York das erste große Dampfschiff „Clermont“ von 60 M. Länge. Die Dampfmaschine der Dampfschiffe dreht die Welle der zu beiden Seiten des Schiffes befindlichen Schaufelräder, welche von gewöhnlichen unterschlächtigen Rädern nicht verschieden sind und mit den untersten Schaufeln in das Wasser eintauchen; um die Höhe der Maschine zu vermindern, ist der Balancier nicht über, sondern unter dem Dampfcylinder angebracht und dreht die Welle der Schaufelräder durch eine Kurbel und Bläuelstange. Es ist allgemein üblich, an der Schiffsdampfmaschine das Schwungrad wegzulassen und zwei an derselben Welle arbeitende Dampfmaschinen aufzustellen; ihre Kurbeln sind so gestellt, daß die eine lothrecht steht, während die andere wagerecht liegt, und so eine der andern über die todten Punkte der Kurbelbahn hinweghilft (§. 56).

Die Dampfschiffe mit Schaufelrädern haben bedeutende Mängel. Neigt sich bei unruhigem Wetter auf der See das Schiff, so arbeitet nur das eine Schaufelrad; taucht das Schiff bei geringer Belastung nicht tief genug ein, so können die Räder nur mit geringem Erfolge arbeiten; im Kriege ferner sind die Räder zu sehr den feindlichen Kugeln bloßgestellt. Von diesen Mängeln sind die Schraubendampfer frei. In ihnen wird durch die Dampfmaschine mit großer Geschwindigkeit eine starke Axe umgedreht, welche mit dem Kiel des Schiffes gleiche Richtung hat und 18—25 C. unter dem Wasserspiegel liegt. In der Nähe des Steuerruders A ist

Fig. 489.



die Balkenmasse des Schiffes durchbrochen, und in diesem durchbrochenen Raum befindet sich an der starken Axe die Schiffsschraube B. Dieselbe bildet entweder, wie in der Zeichnung, zwei halbe Schraubengänge, schraubenförmig gewundene Flächen von 1,5 bis 2,5 M. Durchmesser, oder sie besteht aus drei oder mehr Theilen eines Schraubenganges, die an denselben Punkt der Axe befestigt sind. Eine Holzschraube dringt, wenn sie gedreht wird, in das Holz ein; der schraubenförmig gewundene Pfropfenzieher bewegt sich lothrecht in den Kork hinab. So dringt auch die Schiffsschraube im Wasser vorwärts; jedoch beträgt, weil das Wasser

einen geringeren Widerstand leistet, als ein fester Körper, der von der Schraube und dem Schiffe bei jeder Umdrehung der Schraube in wagerechter Richtung zurückgelegte Weg weit weniger, als die Höhe eines Schraubenganges; deshalb muß die Schraube mit großer Geschwindigkeit gedreht werden.

Die Schiffsschraube ist eine Erfindung des Physikers Daniel Bernoulli, welcher sie im J. 1752 in einer der französischen Akademie überreichten Denkschrift vorgeschlagen und ausführlich beschrieben hat. Aber es vergingen Jahrzehnte, ehe seine Vorschläge zur Ausführung gelangten. Erst 1827 nahm ein Deutscher, der Marine-Intendant Joseph Ressel, ein Patent auf die Herstellung von Schraubendampfern. Der nach seinen Angaben gebaute erste Schraubendampfer machte im Jahre 1829 bei Triest seine Probefahrten unter stürmischem Beifall des Publikums und mit glänzendem Erfolge. Die Nachwelt hat das Andenken Ressels geehrt, indem sie ihm zu Triest ein Denkmal setzte. Allgemeinere Anwendung aber fand die Schiffsschraube erst, nachdem der Engländer Smith vom J. 1836 an Schraubendampfer zu bauen angefangen, und die Admiralität die Erfindung geprüft und gebilligt hatte.

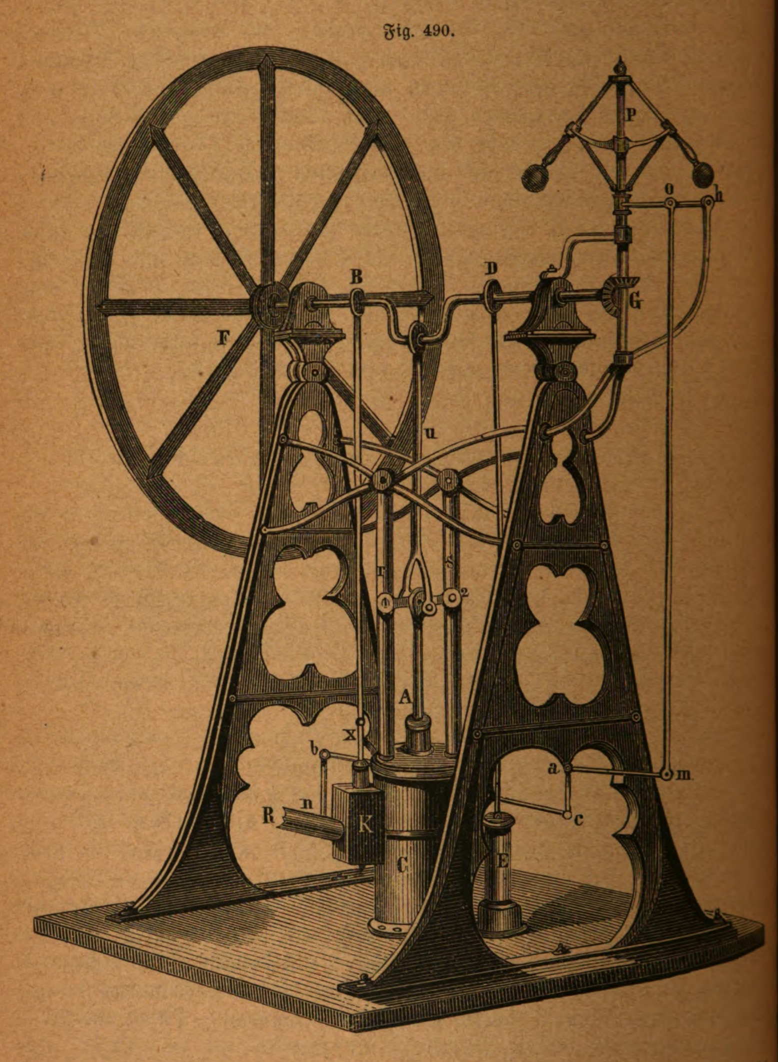
§. 386. Niederdruckmaschinen und Hochdruckmaschinen.

In der Watt'schen Dampfmaschine wird Dampf von geringer Spannkraft oder von niedrigem Druck angewandt; da der Condensator stets auf der einen Seite des Kolbens im Dampfcylinder einen leeren Raum herstellt, so reicht eine Spannkraft, welche wenig größer ist, als der Luftdruck, und welche der Dampf bei 80 Grad R. hat, aus, um den Kolben in Bewegung zu setzen. Deshalb wird die mit einem Condensator versehene Watt'sche Dampfmaschine als Niederdruckmaschine bezeichnet.

Durch stärkere Erwärmung wird die Spannkraft des Dampfes erhöht. Schon bei 97 Grad R. drückt er doppelt so stark oder mit der Kraft von 2 Atmosphären, bei 116 Grad mit der Kraft von 4 Atmosphären. Solcher Dampf, dessen Spannkraft wenigstens zwei und ein halbes Mal so groß ist, als der Druck der Atmosphäre, wird als Dampf von hohem Drucke angesehen und vermag den Kolben des Dampfcylinders zu bewegen, auch wenn unter ihm kein leerer Raum hergestellt wird, und der verbrauchte Dampf ins Freie strömt. Daher kam man auf den Gedanken, da, wo der Raum zur Aufstellung einer Watt'schen Niederdruckmaschine nicht ausreichte, den Condensator sammt seiner Luft- und Kaltwasserpumpe wegzulassen und Dampf von hohem Drucke anzuwenden. Dampfmaschinen ohne Condensator heißen Hochdruckmaschinen und sind unter allen die einfachsten, weil sie wesentlich nur aus dem Kessel, dem Dampfcylinder mit seinem Kolben und der Steuerung bestehen. Es fallen weg: der Condensator, die ihn umgebende Cisterne, die Luftpumpe und die Kaltwasserpumpe.

Eine Hochdruckmaschine ist in Figur 490 dargestellt. Aus dem Dampfrohr R gelangt der Dampf in die Dampfkammer K und in den Dampfcylinder C. Die Kolbenstange A muß, damit sie oben dampfdicht schließe, genau lothrecht auf- und niedersteigen und ist mit einer Gerad-

Fig. 490.



führung versehen; an den oberen Theil der Kolbenstange ist nämlich eine wagerechte Querstange befestigt, die Enden derselben tragen zwei Rollen 1 und 2, und diese berühren die beiden festen, lothrechten Stäbe r und s, welche eine Abweichung der Kolbenstange nach der Seite nicht

ulassen. Oben in die Kolbenstange ist die Bläuelstange u eingelenkt, ind diese dreht mittels eines Krummzapfens die Hauptwelle BG der Naschine und das an diese befestigte Schwungrad. An der Welle sind wei excentrische Scheiben; die erste B zieht die Stange des Schieber- ventils x auf und nieder; die zweite excentrische Scheibe D bewegt den kolben der Speisepumpe E, welche Wasser in den Dampfkessel schafft. Der Centrifugalregulator P erhält seine Bewegung von der Haupt- welle mittels zweier Kegelräder G; er bewegt den Hebel oh, der in h interstützt ist, und durch die Stange om, den Winkelhebel mac und die Stange cb den Hebel bn und durch ihn das Drosselventil bei n im Dampfrohr, durch welches Ventil der Zutritt des Dampfes zur Dampf- ammer regulirt wird.

§. 387. Die Locomotive, eine Hochdruckmaschine.

Die Dampfwagen sind zuerst durch den Engländer Georg Stephen- on in solcher Vollkommenheit erbaut, daß ihre Leistungen dem Zweck entsprechen. Stephenson's Vater war Arbeiter in einem Dorf bei Newcastle und lebte in dürftigen Verhältnissen; sein Sohn mußte sich von einem achten Jahre an seinen Lebensunterhalt durch Viehhüten verdienen; frühzeitig baute er sich kleine Mühlen und ähnliche Maschinen. Später wurde er Heizer, verschaffte sich eine genaue Kenntniß der Dampfmaschine, indem er eine solche auseinandernahm und wieder zusammensetzte, und vervollkommnete sich in den Arbeiten der Mechaniker. Nachdem es ihm gelungen war, eine Watt'sche Dampfmaschine wieder in Ordnung zu bringen, wurde er 1812 als Maschinenbauer angestellt. Von nun an richtete er alle seine Gedanken auf den Bau einer Locomotive, da alle bis dahin gebauten Dampfwagen den Anforderungen nicht entsprachen. Seine erste Locomotive wurde im Jahre 1814 vollendet; ihre Geschwindigkeit über- traf aber nicht die eines Pferdes. Fortwährend war Stephenson bemüht, an der Locomotive Verbesserungen anzubringen; allein erst im Jahre 1829 gelang es ihm dadurch, daß er den von dem französischen Ingenieur Seguin erfundenen Röhrenkessel anwandte, eine Locomotive „die Rakete" herzustellen, welche mit ausreichender Geschwindigkeit fuhr. Diese Loco- motive erhielt den von den Unternehmern der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester ausgesetzten Preis und ist das Vorbild unserer jetzigen Locomotiven geworden.

Den größten Raum in der Locomotive nimmt der cylinderförmige **Dampfkessel** A (Fig. 491) ein; er ist aus dickem, gewalztem Eisenblech gearbeitet und reicht von dem Schornstein F bis an das andere Ende des Wagens. Hier bei den Hinterrädern ist der **Feuerraum** B eingerichtet; er hat unten einen Rost, an der Hinterseite eine kleine Feuerthür und wird an den übrigen Seiten von dem Kessel und dem Wasser desselben umgeben. Durch die Feuerthür bringt man die entschwefelten Steinkohlen oder Koks ein, mit denen der Kessel geheizt wird. Aus dem Feuerraum führen über 100 wagerecht liegende Heizröhren durch den Dampfkessel

hindurch in den Schornstein; sie sind aus Messing und haben 4 C
Weite. Der Rauch und die erhitzte Luft haben aus dem Feuerra
keinen andern Ausweg, als durch diese Röhren, von denen vier in d
Zeichnung dargestellt sind, und die in Fig. 492 deutlicher zu sehen
Das Wasser des Kessels umspült die Heizröhren, und vermöge dieser E
richtung wird hinreichend schnell die große Menge Dampf entwickelt,
zum Betriebe der Maschine erforderlich ist. Ein so eingerichteter Dam
kessel heißt ein Röhrenkessel.

Den Dampf, der sich in dem Kessel über dem Wasser ansamm
ohne Weiteres zu der Dampfkammer und dem Dampfcylinder hinab
leiten, würde nicht zweckdienlich sein, weil bei der Bewegung des Wage
leicht Wasser in diese Maschinentheile gelangen und hemmend einwi
könnte. Darum giebt man dem Dampfkessel in der Nähe der Feuer
eine weite, 60 Cm. nach oben hervorragende Kuppel, den Dampfd
oder die Dampfkuppel C. die gewöhnlich aus Messing besteht. In
Dampfkuppel steigt der Wasserdampf empor und findet durch ein hin
führendes Dampfrohr A einen Weg, auf welchem er in die untert
des Schornsteins angebrachte Dampfkammer K gelangt.

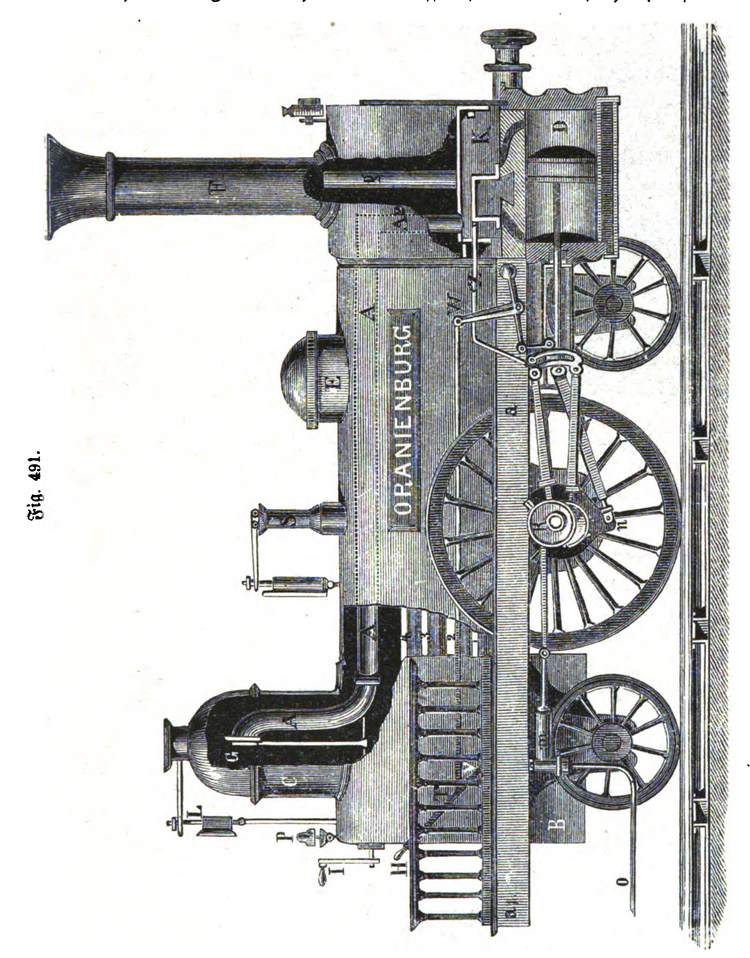
Die Dampfkammer, so wie der **Dampfcylinder** D, der sich u
oder neben ihr, vor den Vorderrädern der Locomotive, befindet, haben e
liegende Stellung. Daher bewegt sich die **Kolbenstange** nicht nach
und unten; sondern sie wird wagerecht hin- und hergeschoben und d
eine darüber und darunter angebrachte Stange verhindert, von der we
rechten Linie abzuweichen. Durch eine Bläuelstange und die Kurbel
(§. 52) dreht die Kolbenstange die großen Mittelräder oder **Treibrä**
des Wagens sammt ihrer Axe um und setzt so die Locomotive in Bewegu
Da eine einzige Kurbel nach §. 56 dies keineswegs leisten würde, m
die Maschine zwei Dampfcylinder sammt den dazu gehörenden Schie
ventilen und Dampfröhren, zwei Kolbenstangen und zwei Kurbeln ha
deren eine bei wagerechter Stellung der andern lothrechte Stellung annim

Was die **Steuerung** betrifft, so ist nach der Zeichnung K die Dam
kammer. Unter dem Schieber, der einen hohlen, nach unten offen
Kasten bildet, sind drei Kanäle, mit denen er communiciren kann; der z
Rechten und der zur Linken führen in den Dampfcylinder, nach sein
rechten oder linken Seite, der mittlere, in der Figur nur angedeute
Kanal aber führt durch das Blaserohr g in den Schornstein F. B
der dargestellten Stellung des Schiebers ist der Kanal zur Rechten
der Dampf tritt hier ein und treibt den Kolben nach der linken Se
während die Luft und der verbrauchte Dampf aus dem Kanal zur Lin
in den hohlen Schieber, aus diesem in den mittleren Kanal, das Bla
rohr und den Schornstein entweicht. Nunmehr muß der Schieber n
rechts geschoben werden; der Dampf tritt aus dem Dampfrohr und d
Dampfkammer links vom Kolben ein, und der verbrauchte Dampf en
weicht durch den Kanal zur Linken, den hohlen Schieber und den mittler
Kanal zum Blaserohr hinaus. So strömt der Dampf, wenn er s
Wirkung gethan hat, bei jedem Hin- und Hergang des Kolbens stoßw

durch das Blaserohr in den Schornstein und wirkt noch dazu, den Luftzug im Feuerraume zu vermehren; daher das Geräusch in dem Schornstein einer fahrenden Locomotive.

Nahe dem Platze des Locomotivführers ist eine Dampfpfeife P angebracht, durch welche er den Dampf zum Signalgeben strömen läßt. Der bei E hervorragende Theil des Kessels, die Einfahrt, ist eine fest

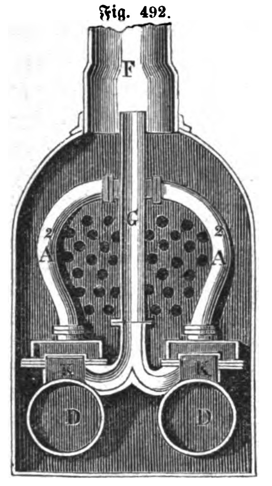
Fig. 491.



verschlossene Oeffnung, deren Verschluß abgeschraubt wird, wenn der Kessel gereinigt werden soll. Die außerdem oben aus der Locomotive hervorragende Röhre S, sowie L, sind **Sicherheitsventile**, die sich nach oben öffnen und dem Dampfe auszuströmen gestatten, wenn seine Spannkraft zu groß geworden ist. Das eine derselben S ist durch eine Feder verschlossen und dem Maschinenführer nicht zugänglich, während er das Sicher-

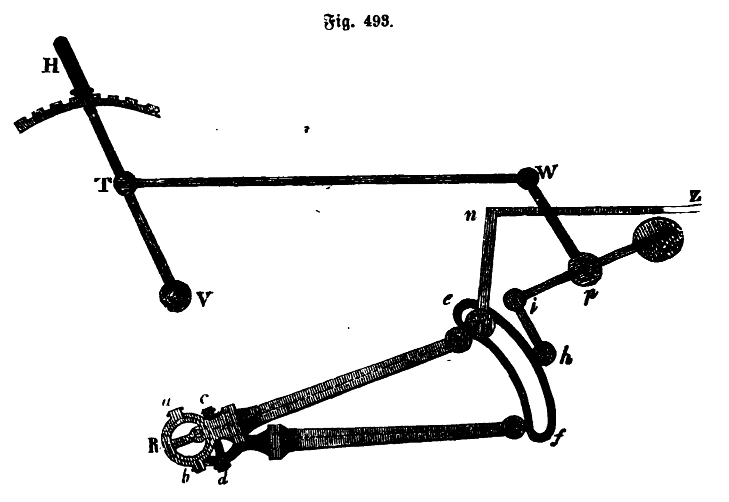
heitsventil L öffnen und den Dampf wirkungslos ins Freie strö-
lassen kann. Der Locomotivführer, dem es zugleich obliegt, das au-
halb des Kessels (§. 385, 2) angebrachte Wasserstandsrohr und die
dem Tender das Wasser herbeischaffende Sp-
pumpe m zu beobachten, die durch das Excentri-
R bewegt wird, hat es in seiner Gewalt,
er schnell oder langsam, vorwärts oder rü-
wärts fahren will. Die Schnelligkeit der
wegung hängt von der Dampfmenge ab, we-
durch das Dampfrohr in den Dampfkasten komm-
daher befindet sich in dem Dampfrohr
Drehklappe G, welcher der Maschinenführer
Hülfe eines Hebels I eine beliebige Stellu-
geben kann, je nachdem er viel oder we-
Dampf will arbeiten lassen. Um rückwär-
zu fahren, ändert er die Stellung
Schieberventils durch Stellen der Rückst-
H. Durch diese bewegt er die Stephenson-
Coulisse; ihre Einrichtung ist folgende. An
Axe der Mittelräder sind auf jeder Seite
excentrische Scheiben befestigt, in Figur 493

Fig. 492.



und cd, so daß, wenn die eine am weitesten nach rechts steht, die andere
Stellung am weitesten nach links hat. Die Schubstangen beider excentri-
Scheiben sind drehbar mit der Coulisse oder Hängetasche ef verbund-

Fig. 493.



die Coulisse besteht aus zwei fest mit einander vereinigten concentrisch-
Kreisbogen; zwischen beiden Bogen läßt sich der Knopf r verschieben,
den die Stange rnz des Schieberventils befestigt ist. Der Kolben
Dampfcylinders D in Figur 491 stehe in der Mitte und bewege

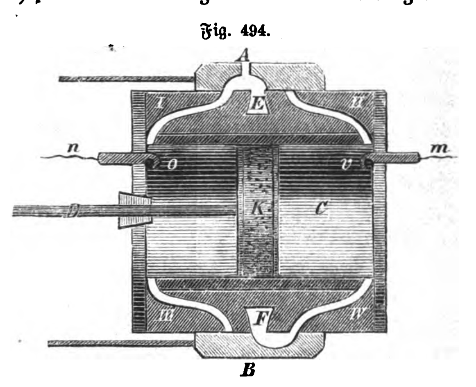
ach links, das Schieberventil steht links und wird bewegt durch das Excentricum ab (Fig. 493); der Wagen geht vorwärts.

Nun kann der Locomotivführer bewirken, daß statt der ersten die zweite excentrische Scheibe cd den Knopf r und die Stange rnz des Schiebers bewegt. Die Coulisse ist durch die Stange hi drehbar an einen Winkelhebel ipW gehängt, welcher bei p im Gestell der Maschine seinen Unterstützungspunkt hat, und das obere Ende W dieses Winkelhebels bewegt sich gleichzeitig mit der Rückstange HTV, zu welcher die Stange VT führt, und die vom Standort des Maschinenführers aus erreichbar ist. Wird die Handhabe H der Rückstange vom Locomotivführer nach rechts bewegt, so bewegt sich auch der obere Punkt W des Winkelhebels nach rechts; sein anderer Endpunkt i aber sammt der Coulisse ef bewegt sich nach oben. Jetzt wirkt der untere Theil f der Coulisse und die excentrische Scheibe cd auf den Knopf r und die Schieberstange rnz. Das Excentricum cd steht aber, wenn ab am weitesten nach links steht, am weitesten nach rechts und bewegt den Knopf r, die Schieberstange und das Schieberventil sogleich nach rechts; der Dampf tritt auf die linke Seite des Kolbens; derselbe geht nach rechts und bewegt die großen Mittelräder und die Locomotive nunmehr rückwärts. Ueber die geringere Reibung auf Eisenbahnen vergl. §. 35.

§. 388. Die Gaskraftmaschinen.

Für kleinere Leistungen ist die **Lenoir'sche Gaskraftmaschine** geeignet, eine Dampfmaschine zu ersetzen. Lenoir war zu Paris Arbeiter in einer Bronzefabrik gewesen und hatte später eine galvanoplastische Anstalt gegründet; er hatte sich sodann bemüht, den Elektromagnetismus als bewegende Kraft nutzbar zu machen, aber wegen der zu großen Unterhaltungskosten der Batterie seine Versuche aufgegeben. Nun kam er auf den Gedanken, ein Gasgemenge aus Leuchtgas (§. 250) und atmosphärischer Luft, welches durch elektrische Funken entzündet wird, als bewegende Kraft anzuwenden, und erfand 1860 seine Gaskraftmaschine. Dieselbe gleicht äußerlich einer Dampfmaschine mit liegendem Cylinder; in dem Cylinder C wird ein Kolben hin und her bewegt; die Kolbenstange D, welche luftdicht durch den zur Linken befindlichen Boden des Cylinders führt, bewegt eine Bläuelstange und durch diese eine Kurbel und ein Schwungrad. Durch einen Schieber A und einen Canal I gelangt das Gasgemenge auf die eine, nach der Zeichnung auf die linke Seite des Kolbens K. Angewandt

Fig. 494.



werden 2 Theile Leuchtgas auf 98 Theile atmosphärischer Luft, höchstens 5 Theile Gas auf 95 Theile Luft; eingeführt wird das Gas in fein vertheilten Strömen durch Röhrchen, und die Luft durch Hohlgänge, welche die Röhrchen umgeben, so daß eine vollständige Mengung beider luftförmigen Körper Statt findet. Ist genug Gas eingetreten, so wird es durch einen elektrischen Funken entzündet. Den Funken liefert ein Inductionsapparat, dessen Hauptstrom durch zwei Bunsen'sche Ketten hervorgebracht wird; das eine Ende des Nebendrahtes ist an den Cylinder C befestigt; das andere Ende des Nebendrahtes steht in metallischer Verbindung mit 2 Platindrähten n und m, welche isolirt durch die Böden des Cylinders geführt und innerhalb desselben so gebogen sind, daß von ihnen elektrische Funken zur inneren Cylinderwand bei o und v überspringen können. Der Funke entzündet das Gas, und die bei der Verbrennung erregte Hitze dehnt die sich bildenden luftförmigen Körper, Wasserdampf, Kohlensäure und Stickstoff, so beträchtlich aus, daß der Kolben (nach rechts) bewegt wird. Die rechts von dem Kolben in dem Cylinder befindliche Luft entweicht durch einen Canal IV und den Schieber B nach F ins Freie. Darauf ändert die Kolbenstange D mit Hülfe von Zwischenmaschinen die Stellung der beiden Schieber A und B; A wird nach rechts bewegt und läßt Gas und Luft durch einen Canal II auf die rechte Seite des Kolbens strömen; bei v springt der Funke über, und der Kolben bewegt sich nach links, wobei das verbrauchte Gas durch den Canal III, den Schieber B und die Oeffnung E ins Freie entweicht. Weil der Cylinder C sich erwärmt, ist er von einem Mantel umgeben und wird beständig von kaltem Wasser umspült.

Eine Abänderung und Vervollkommnung der Lenoir'schen Maschine ist die **atmosphärische Gaskraftmaschine.** Wie bei den atmosphärischen Dampfmaschinen, so ist auch bei den atmosphärischen Gasmaschinen der Druck der atmosphärischen Luft die bewegende Kraft, und das Gas dient vornehmlich zur Herstellung eines luftverdünnten Raumes. Der lothrecht stehende Cylinder dieser Maschinen ist oben nicht geschlossen. Das Gemenge aus Leuchtgas und Luft wird in den unteren Theil des Cylinders eingeführt. Die Entzündung des Gasgemenges wird durch eine kleine Gasflamme bewirkt, welche durch Schieber mit dem inneren Raum des Cylinders in Verbindung gesetzt oder von demselben abgesperrt werden kann. Die Stange des sich in dem Cylinder bewegenden Kolbens ist eine gezahnte Stange (§. 55); dieselbe greift in die Zähne eines Sternrades, welches an der Hauptwelle der Maschine angebracht ist, und bewegt die Welle, aber nur, wenn sich der Kolben hinab bewegt. Während der Kolben emporsteigt, wird durch ein Schaltwerk das Sternrad von der Hauptwelle losgelöst, so daß beide sich unabhängig von einander bewegen. Befindet sich daher der Kolben in dem unteren Theil des Cylinders, und ist das dort eingeführte Gasgemenge entzündet, so bewegt sich der Kolben mit großer Geschwindigkeit nach oben, ohne auf die Maschine zu wirken. Es bildet sich aber unter ihm sofort durch Verdichtung des entstandenen Dampfes ein luftverdünnter Raum; der Druck der atmosphärischen Luft

wirkt von oben auf den Kolben und bewegt ihn, nachdem das Sternrad durch das Schaltwerk an die Hauptwelle befestigt ist, hinab. Die gezahnte Kolbenstange bewegt, so lange der Kolben sinkt, die Hauptwelle der Maschine, und ein Schwungrad dient dazu, dieselbe in Bewegung zu erhalten, während der Kolben steigt und der Maschine keine Bewegung mittheilt. Die Leistung der Gaskraftmaschinen beträgt nur wenige Pferdekräfte, und sie arbeiten nicht geräuschlos; aber ihre Betriebskosten sind gering, sie lassen sich in jedem Stockwerk aufstellen und werden von Mechanikern, Posamentirern und Drechslern mit Vortheil angewandt.

Die Verbreitung der Wärme.

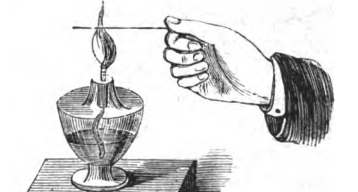
I. Verbreitung der Wärme durch Leitung.

§. 389. Leitung der Wärme.

Versuch a. Man nehme die Kugel eines Thermometers in die hohle Hand; das Quecksilber wird zuerst schnell, dann langsamer steigen. Offenbar würde das Quecksilber sich nicht ausdehnen, wenn es nicht erwärmt wäre. Auf welchem Wege ist aber die Wärme der Hand zu dem Quecksilber gelangt? Das dünne Glas der Thermometerkugel ist in Berührung mit der Hand, von dieser ist die Wärme auf das Glas und von dem Glase in das Quecksilber übergegangen. Die Wärme hat sich von einem Körpertheilchen zu dem mit ihm in unmittelbarer Berührung stehenden verbreitet, oder sie ist zu diesem geleitet worden.

Versuch b. Wie die Wärme von jedem Körper zu den ihn berührenden übergeht, so auch von den erwärmten Theilen zu den benachbarten Theilen eines und desselben Körpers. Man halte einen kurzen Draht mit dem einen Ende in eine Lichtflamme; bald werden die Finger, welche das andere Ende halten, fühlen, wie sich die Wärme in dem Draht bis zu ihnen verbreitet. Die durch die Flamme erhitzten Metalltheilchen theilen ihre Wärme den nächsten, sie berührenden, und diese wieder den folgenden mit, bis sie sich nach und nach bis zu dem anderen Ende verbreitet hat.

Fig. 495.



Diese Verbreitung der Wärme von jedem Körpertheilchen zu dem nächsten, mit ihm in unmittelbarer Berührung stehenden, wird die Leitung der Wärme genannt.

§. 390. Wärmeleitung durch feste Körper.

Wie der vorhergehende Versuch dargethan hat, nimmt das Me[illegible] die Wärme der es berührenden heißen Gase (§. 251 und 252) schnell [illegible] und verbreitet sie schnell durch seine ganze Masse. Alle Metalle sind gu[illegible] Wärmeleiter.

Versuch a. Um einen nicht zu kleinen Schlüssel wickele man ein[illegible] Faden und ziehe die Windungen straff an, damit sie das Metall vollkom[illegible] berühren. In eine Kerzenflamme gebracht, verbrennen die Windun[illegible] des Fadens nicht. Es wird also auf irgend eine Weise dem Faden [illegible] ihm durch die Flamme mitgetheilte Wärme genommen. Dies thut [illegible] Schlüssel, indem er begierig von dem Faden Wärme aufnimmt und [illegible] seine ganze Masse verbreitet.

Versuch b. Ein entgegengesetztes Verhalten zeigen Stroh, Pa[illegible] Holz und viele andere Körper. Hält man einen Strohhalm, einen Pa[illegible] streifen oder einen Holzspan mit dem einen Ende in einiger Entfern[illegible] über eine Flamme, so ist an ihrem anderen Ende keine Wärmezuna[illegible] zu fühlen. Sogar wenn jene Körper in die Flamme gehalten werden [illegible] unter beträchtlicher Wärmeentwickelung verbrennen, ist nur in der Nähe [illegible] Flamme selbst eine Temperaturerhöhung bemerkbar.

Versuch c. Wenn man auf die Hand eine fingerdicke Lage [illegible] bringt und darauf eine glühende Kohle legt, so ist die Hand gegen [illegible] Verbrennen vollkommen gesichert. Die Asche nimmt die Wärme der K[illegible] sehr langsam auf und leitet sie eben so langsam bis zur Hand.

Versuch d. Eine mit heißem Wasser gefüllte Flasche (eine Wä[illegible] flasche) umhülle man mit mehrfachen Lagen von wollenem oder leine[illegible] Zeuge oder lege sie in ein Federbett. Sie wird noch nach längerer [illegible] warm sein, und nur die ihr zunächst benachbarten Theile der Umhül[illegible] werden Wärme aufgenommen haben.

Versuch e. Zwei Räucherkerzen werden angezündet, und die [illegible] derselben auf ein Metallstück, etwa eine größere Münze, die andere au[illegible] Holzklötzchen oder auf Papier gestellt. Die auf dem Metall stehende Räuch[illegible] kerze erlischt, bevor sie völlig ausgebrannt ist; die von dem Papier getrag[illegible] brennt völlig herunter. Das Metall entzieht der Kerze die zum Ausbren[illegible] nöthige Wärme und leitet sie hinweg; das Papier dagegen leitet die Wä[illegible] nicht hinweg.

Solche Körper, welche die Wärme der sie berührenden Körper lang[illegible] aufnehmen und sehr langsam durch ihre Masse verbreiten, hei[illegible] schlechte Wärmeleiter.

Gute Wärmeleiter sind die Metalle.

Schlechte Wärmeleiter sind Pelz, Wolle, Baumwolle, Seide [illegible] Leinwand, Stroh, Papier, Federn, Holz, Kohle und Asche, Schnee und [illegible]

Ein mittleres Wärmeleitungsvermögen zeigen Glas und Steine.

Versuch f. Auf einem geheizten Ofen mögen neben einander [illegible] Stück Holz und ein Metallstück liegen; sie werden nach einiger Zei[illegible] gleichem Grade erwärmt sein. Aber obschon sie gleich warm sind, mach[illegible]

sie auf unser Gefühl einen ungleichen Eindruck. Das Metall fühlt sich weit heißer an und theilt der Hand schneller die aus seiner ganzen Masse bei der Berührung forteilende Wärme mit, als das ebenso heiße Holzstückchen, durch dessen Theile sie langsamer bis an die von der Hand berührten Stellen gelangt.

Versuch g. Umgekehrt setze man an einem recht kalten Tage Wolle, Holz und Metall neben einander lange genug der Kälte aus; sie erlangen dieselbe Temperatur, und ein Thermometer bezeugt dies. Aber das Metall fühlt sich sehr kalt, das Holz weniger, und die Wolle noch weniger kalt an. Das Metall raubt der Hand, da die von ihr mitgetheilte Wärme sich schneller nach allen Seiten durch seine Masse verbreitet, die meiste Wärme; bei der Wolle nehmen nur die unmittelbar berührten Stellen der Hand etwas Wärme weg, und es dauert sehr lange, bis die von ihnen entfernteren Theile Wärme erhalten, die der Hand entrissen ist. — So bewirkt der Griff eines metallenen Pumpenschwengels zur Zeit des Winters für die Hand einen großen Wärmeverlust und deshalb ein Gefühl bedeutender Kälte. Auf einem steinernen Fußboden werden die Füße kalt, da er schneller die Wärme aufnimmt, als Holz.

§. 391. Wärmeleitung durch tropfbarflüssige und luftförmige Körper.

Versuch a. Ein Probircylinder werde fast ganz mit Wasser angefüllt und bleibe oben offen. Hält man ihn etwas schräg so über die Spirituslampe, daß die Flamme die obersten Schichten des Wassers trifft, so werden dieselben anfangen zu kochen. Aber die unteren Schichten des Wassers werden kalt bleiben, und die Hand wird keine merkbare Wärmezunahme empfinden.

Der Versuch läßt sich mit demselben Erfolge mit den andern tropfbarflüssigen Körpern anstellen. Folglich gehören, mit Ausnahme des metallischen Quecksilbers, die tropfbaren Flüssigkeiten zu den schlechten Wärmeleitern.

Versuch b. Um das Wärmeleitungsvermögen luftförmiger Körper zu prüfen, halte man das verschlossene Ende eines atmosphärische Luft enthaltenden Probircylinders in schräger Stellung über die Spirituslampe und verschließe die nach unten gewandte Oeffnung zum Theile mit dem Finger. Es wird die den Finger berührende Luft keine Temperaturerhöhung zeigen, und daraus ist zu schließen, daß auch die luftförmigen Körper schlechte Wärmeleiter sind.

Jedoch verbreitet sich die Wärme im Wasser und in der Luft, wenn ihre unteren Schichten erwärmt werden, bald in Folge der in ihnen eintretenden Strömungen (§. 355—359), wobei die kälteren Schichten der Wärmequelle zuströmen, bis auch sie erwärmt sind. Bei windigem Wetter fühlen wir eine größere Kälte, als an einem windstillen Tage, weil die Theile der Luft schneller an uns vorbeiziehen, und jedes uns berührende Theilchen dem Körper etwas Wärme nimmt. So läßt auch die Bewegung eines Fächers die Luft schnell am Gesicht vorüberziehen; da

sie kälter ist, entzieht sie ihm bei jedem Luftstoß etwas Wärme. Das heiße Wasser kühlt sich zunächst an der Oberfläche ab, wo es mit der Luft in Berührung ist, und die Verdunstung eintritt (§. 371), und sinkt dann nieder; wärmere Theilchen steigen empor, kühlen sich auch ab und sinken gleichfalls. Diese Strömungen beim Abkühlen einer Flüssigkeit sind bei breiartigen Speisen, Reis und dergleichen, nicht möglich, weshalb sie Stunden lang warm bleiben.

§. 392. Anwendung guter und schlechter Wärmeleiter.

Die Verschiedenheit in dem Leitungsvermögen der Körper findet zahlreiche Anwendungen. Gute Wärmeleiter werden angewandt, wenn man Wärme schnell verbreiten, schlechte, wenn man die Wärme irgendwo zurückhalten will.

Um Wasser schnell zum Sieden zu bringen, wendet man metallene Kochgefäße an, und um schnell sich wärmen zu können, eiserne Oefen.

Dagegen bewahren die schlecht leitenden Kleiderstoffe und Betten dem Körper seine Wärme, ähnlich wie sie eine Wärmflasche nicht leicht sich abkühlen lassen; ein wollener Fußteppich entzieht als schlechter Wärmeleiter den Füßen die Wärme so langsam, daß kein Verlust derselben fühlbar wird; es läßt der Reiter in der Winterkälte die metallenen Steigbügel mit Tuch oder Stroh bewickeln. Die ganze uns umgebende Atmosphäre hat die Einrichtung eines schlechten Wärmeleiters; wäre sie ein guter Leiter, so würde sie in kurzer Zeit der Thierwelt die zum Leben nöthige Wärme entzogen haben; weil aber die Luft, nach oben und nach der Seite strömend, sich bewegt, und stets die verschiedenen mit dem Körper in Berührung kommenden Lufttheilchen Wärme mit sich hinweg nehmen, haben die Thiere eine Bedeckung von Wolle, Pelz und Federn als Schutz gegen zu großen Wärmeverlust erhalten. Die abgesperrte ruhige Luftschicht zwischen gut schließenden Doppelfenstern und Doppelthüren bietet der Zimmerwärme eine schlechte Leitung dar und läßt sie nicht entweichen; die Zwischenräume zwischen den Doppelwänden der eisernen, feuerfesten Schränke werden mit einem schlechten Wärmeleiter mit Asche, gefüllt, und Dampfröhren oder Dampfkessel mit einem Mantel umgeben, dessen Füllung aus Kohlenpulver oder Asche besteht. Bäume und Brunnen werden durch Umhüllung mit Stroh gegen den Frost verwahrt; Treibhäuser bedeckt man mit Strohmatten, wenn es kalt wird, Kelleröffnungen werden im Winter mit Stroh oder Dünger verschlossen. Der Schnee sammt der in seinen Zwischenräumen enthaltenen Luft hält in den Saaten eine hinreichende Wärmemenge zurück; erfrorene Menschen, bei deren Rettung es darauf ankommt, sie nicht einer zu hohen Temperatur auszusetzen, weil alsdann Entzündung und Brand eintreten, bedeckt man mit Schnee und läßt sie so ganz allmählich sich erwärmen.

Wie aber durch schlechte Wärmeleiter das Verlieren der vorhandenen Wärme gehindert wird, so schützen sie auch gegen das Eindringen neuer

Wärme. So halten die hölzernen Handgriffe an Metallgefäßen und Plätteisen die Hitze von der Hand zurück; die durch schwere Arbeit hart und hornartig gewordene Haut der Hände ist ein so schlechter Wärmeleiter, daß die Schmiede darauf glühende Kohlen tragen; ein untergelegtes Stück Papier läßt die Wärme von dem Ofen langsam zu einem darauf gestellten Glase übergehen und schützt es vor dem Zerspringen; Eiskeller umgiebt man zum Schutz gegen die Sonnenwärme mit Stroh oder mit einer Kohlen- oder Aschenschicht und Holz. Die ganze Erdoberfläche ist ein schlechter Wärmeleiter, damit sie im Sommer die Wurzeln der Pflanzen vor dem Eindringen der Hitze und dem Verdorren sichere, im Winter aber sie vor dem Verlieren der Wärme und dem Erfrieren bewahre.

II. Die Verbreitung der Wärme durch Strahlung.

§. 393. Ausstrahlung von Wärme.

Indem die Wärme durch Leitung sich verbreitet, theilt jedes Körpertheilchen dem nächsten, und jeder Körper dem ihn unmittelbar berührenden Wärme mit. Aber die Wärme irgend eines Gegenstandes kann sich auch bis zu einem entfernten Körper verbreiten, ohne daß die dazwischen befindlichen Körper erwärmt werden.

Versuch a. Stellt man sich vor das Feuer einer offnen Heizung, so fühlt man an der Hand oder dem Gesichte eine brennende Hitze. Und doch ist die zwischen dem Feuer und dem Beobachter befindliche Luft keineswegs in solchem Grade erwärmt. Man halte einen Schirm, ein Blatt Papier, zwischen die Wärmequelle und das Gesicht. Augenblicklich ist dadurch das Gefühl von Wärme unterbrochen, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Luft der Umgebung so weit erwärmt, aber bei der Wegnahme des Schirmes ebenso schnell wieder hergestellt wäre. Da der in gerader Linie zwischen Feuer und Körper gehaltene Schirm die Wärme zurückhält, so folgt, daß die Wärme von dem Feuer aus, durch die Luft hindurch, in gerader Linie ihren Weg bis zu dem Beobachter genommen hat.

Wie der gerade Weg des Lichtes ein Lichtstrahl (§. 290) heißt, so nennt man den geradlinigen Weg der Wärme einen Wärmestrahl und diese geradlinige Verbreitungsweise der Wärme Wärmestrahlung. Wärmestrahlen gehen aber nicht etwa bloß von hellleuchtenden Körpern aus, sondern auch von dunklen, nicht leuchtenden.

Versuch b. Man bringe die flache Hand in die Nähe eines geheizten eisernen Ofens. Die Hand wird die Empfindung der Wärmestrahlen haben, sie aber verlieren, sobald ein Schirm dazwischen gestellt wird.

Versuch c. Ein eiserner Topf sei mit kochendem Wasser angefüllt, er sendet der Hand ebenfalls deutlich wahrnehmbare Wärmestrahlen zu.

Weil aber das Gefühl täuschen könnte, und ein gewöhnliches Quecksilberthermometer nicht empfindlich genug ist, stelle man in die Nähe des Topfes die in §. 350 angegebene Vorrichtung, die, besonders wenn die Capillarröhre sehr eng ist und hinreichend weit aus dem Probircylinder hervorragt, große Empfindlichkeit zeigt und ein einfaches Luftthermometer bildet. Die Flüssigkeit wird in der Nähe des heißen Wassers steigen und wenn man durch einen Schirm die Wärmestrahlen zurückhält, wieder sinken.

Sonach verbreitet sich die Wärme von den wärmeren Körpern aus nach allen Seiten in geraden Linien. Zwar strahlen alle Körper Wärme aus, aber nicht gleich viel und gleich schnell. Es giebt gute und schlechte Wärmestrahler.

Versuch d. Zwei gleich große Trinkgläser umwickle man, das eine mit schwarzem, nicht glänzendem Papier, das andere mit Goldpapier. Darauf fülle man beide unter mehrmaligem Umschwenken mit heißem Wasser und stelle sie auf einen und denselben schlechten Wärmeleiter, auf eine Unterlage von Papier. Beiden Gläsern wird durch die sie berührende Luft und das Papier gleich viel Wärme entzogen. Gleichwohl werden sie, wenn man nach einiger Zeit das Thermometer eintaucht, eine ungleiche Temperatur zeigen; das mit schwarzem Papier bewickelte Glas ist kälter geworden und hat mehr Wärme verloren, oder, da dieser Verlust nur durch Wärmestrahlung erfolgt sein kann, es hat mehr Wärme ausgestrahlt. Beide Gläser waren vollkommen gleich bis auf die sie umgebenden Papierflächen; die Menge der ausgestrahlten Wärme hängt, außer von der Wärme des Körpers, auch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab.

Blank polirte Thee- oder Kaffeemaschinen verlieren durch Strahlung ihre Wärme sehr langsam, und die Flüssigkeiten bleiben in ihnen lange warm. Deshalb arbeitet man auch Speisedeckel aus glänzendem Messing oder Silber; ein dunkler oder unebner Deckel entzieht der gekochten Speise durch Ausstrahlung mehr Wärme. Ofenröhren und eiserne Oefen läßt man schwarz, rauh und unpolirt, damit sie den im Zimmer befindlichen Gegenständen schnell eine reichliche Wärmemenge zustrahlen.

Gesetz: Dunkle und rauhe Flächen senden mehr Wärmestrahlen aus, als helle und glatte.

An der Erdoberfläche verlieren in der Nacht Gras und Blätter durch Ausstrahlung eine Menge Wärme und veranlassen dadurch die Bildung des Thaues (§. 374). Die Blüthen schließen sich in der Nacht, damit die Staubfäden nicht durch Strahlung zu viel Wärme verlieren. Die wilden Thiere schützen sich gegen die Abkühlung durch Strahlung, indem sie für die Nacht sich in Höhlen oder unter das Laubdach der Bäume begeben. Die ganze Erde strahlt während eines Jahres so viel Wärme in den kalten Weltraum aus, als sie durch Strahlung von der Sonne empfängt, ohne daß die Temperatur der Erde zunimmt.

§. 394. Aufnahme und Zurückwerfung der Wärmestrahlen.

Versuch a. Die zu dem vorhergehenden Versuch mit dunklem und mit Goldpapier umwickelten Gläser werden mit kaltem Wasser gefüllt, in die Sonne gestellt und nach einiger Zeit mit dem Thermometer untersucht. Das mit dunklem Papier umwickelte Glas ist bei weitem wärmer geworden und hat mehr Wärmestrahlen aufgenommen, während das Goldpapier sie fast wirkungslos zurückgeworfen hat.

Versuch b. Das Luftthermometer (§. 393 c) werde, nachdem man den Kork abgenommen hat, in die Flamme einer Kerze gehalten und dadurch auf der einen Seite mit Ruß überzogen. Nachdem sich das Glas abgekühlt hat, setze man den Kork mit der Capillarröhre wieder auf. Zuvor hatte die Vorrichtung in 30 Cm. Entfernung von einem Kachelofen kaum eine Wärmestrahlung angezeigt; jetzt nähere man das Luftthermometer mit vorgehaltenem Schirm dem Ofen, dem es seine mit Ruß überzogene Seite zukehren muß. Nach Wegnahme des Schirms wird die Flüssigkeit alsbald zu steigen beginnen, weil der Ruß leicht Wärmestrahlen aufnimmt.

Versuch c. Um Mittagszeit versuche man durch ein Brennglas (§. 312 und 347) nach einander ein Stück weißes und dann ein Stück schwarzes Papier zu entzünden. Es wird länger dauern, ehe das weiße Papier zu brennen beginnt. Das dunkle Papier nimmt die Wärmestrahlen weit leichter auf.

Versuch d. Man breite im Winter bei Sonnenschein neben einander ein weißes, ein schwarzes und mehrere verschiedenfarbige Tuchstückchen auf dem Schnee aus. Nach etlicher Zeit wird unter dem schwarzen Tuchstück am meisten Schnee geschmolzen sein; die weniger dunklen Stücke sind weniger tief eingesunken, und das weiße Zeug hat alle Wärmestrahlen zurückgeworfen, ohne den Schnee zu erwärmen.

Versuch e. Eine unebene, rauhe Metallscheibe und eine polirte werden ungleich warm, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt werden. Die polirte Fläche wird fast gar nicht erwärmt.

> **Gesetz:** Dunkle und rauhe Flächen nehmen mehr Wärmestrahlen auf, als helle und glatte.

Schwarze Handschuhe sitzen im Sommer sehr warm, weil sie reichlich Wärmestrahlen aufnehmen. Gebrauchte, mit Ruß bedeckte Kessel und Pfannen werden schneller warm, als neue, und man scheuert sie absichtlich nicht an solchen Stellen, wo sie mit dem Feuer in Berührung kommen. Neben dunklen Pfählen und Baumstämmen schmilzt der Schnee früher, als rings umher.

Zu Unterkleidern eignen sich weiße Stoffe, welche die von dem Körper ausgehenden Wärmestrahlen ihm wieder zuwerfen. Man baut terrassenförmig auf Weinbergen weiße Mauern, damit sie die auffallenden wärmenden Strahlen den einzeln an Pfählen stehenden Weinstöcken zusenden. In einem polirten Metallgefäß bleibt wegen der

Zurückwerfung der von außen kommenden Wärme im Sommer das Trinkwasser ziemlich lange kühl. Ein Feuerschirm, der aus blankem Blech gefertigt und vor den Heerd gestellt wird, wirft die Wärme auf den Heerd zurück und erhöht sie auf solche Weise, während gleichzeitig die Küche kühler bleibt. Die obere Fläche der Blätter an Bäumen und Sträuchen ist glänzend oder doch glatt, damit sie nicht zu sehr durch die Sonnenstrahlen erwärmt werden; dagegen ist die untere Fläche der Blätter wohl behaart, damit sie in der Nacht möglichst viel Wärmestrahlen von dem Erdboden aufnehmen. Viele Knospen sind mit einer klebrigen, glänzenden Masse bedeckt, so daß sie bei Tage nicht zu stark erwärmt und bei Nacht nicht zu sehr abgekühlt werden. In einem Zimmer nehmen allmählich alle Gegenstände, so verschieden auch ihre Oberfläche sein mag, fast dieselbe Temperatur an, weil die am schnellsten Wärme ausstrahlenden Körper sie auch ebenso schnell wieder aufnehmen, und die, welche langsam Wärmestrahlen aufnehmen, sie auch langsam wieder aussenden. Ununterbrochen aber findet ein Annehmen und Abgeben und eine stete Bewegung der Wärme statt.

---

§. 395. Rückblick.

Wir sind auf dem Pfade, der uns durch den blühenden, reich geschmückten Garten der Naturerscheinungen geführt hat, an einem Punkte angelangt, wo es sich geziemt, den zurückgelegten Weg zu überschauen und nach den Ursachen zu fragen, in denen die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen begründet ist.

Die mechanischen Erscheinungen der Körper hängen von der **Schwerkraft** ab, welche als anziehende Kraft der Gesammtmasse der Erde einwohnt, alles Irdische an dieselbe fesselt und es hindert, sich von ihr zu entfernen. Aber sowohl die Bewegungen, als der Druck, welchen die Schwerkraft bewirkt, gewinnen eine verschiedene Gestalt und erscheinen in beträchtlich von einander abweichenden Formen, je nachdem der Zustand der Körper ein fester oder ein tropfbarflüssiger oder ein luftförmiger ist. Der Zustand eines Körpers richtet sich nach der Kraft des Zusammenhanges, welche seine Theile fest und innig oder lose und leicht beweglich an einander bindet. Wie die Adhäsion bewirkt, daß zwei einander sehr nahe gebrachte Körper sich gegenseitig anziehen und an einander haften, so ist die Cohäsion oder der Zusammenhang eine Anziehung, welche die einzelnen Theilchen eines und desselben Körpers auf einander ausüben. Daher erkennen wir in der Schwerkraft, der Cohäsion und der Adhäsion verschiedene Aeußerungen einer einzigen Kraft, der **allgemeinen Anziehungskraft**, welche als Grundkraft allem Körperlichem einwohnt. Und wenn sich die Theile eines luftförmigen Körpers von einander zu entfernen suchen, so ist keineswegs den luftigen Körpertheilchen selber eine abstoßende Kraft zuzuschreiben; sie ziehen sich an, wie Alles, was Körper heißt. Viel-

mehr sind wir zu der Annahme geführt, daß die Körpertheilchen mit einer Hülle oder Atmosphäre eines überaus feinen, elastischen Stoffes umgeben sind, der sie von einander zu entfernen strebt. In der Astronomie hat die Beobachtung des Encke'schen Kometen zu der Annahme geführt, daß der ganze Weltraum von einem zarten elastischen Stoffe erfüllt werde, welcher den Namen **Aether** erhalten hat und den Kometen, diesen luftigen und nebelartigen Himmelskörpern, bei ihrer Bewegung einen merklichen Widerstand leistet. Derselbe Aether durchdringt alle Körper, und die Theilchen eines jeden sind von Aetherhüllen umschlossen; von der Größe derselben hängt der Zustand eines Körpers ab; sie sind am größten bei Gasen und Dämpfen.

Allgemeine Anerkennung hat ferner die Annahme gefunden, daß durch Schwingungen (Vibrationen oder Oscillationen) des Aethers die Erscheinungen **des Lichts** entstehen, und in Folge sorgfältig angestellter Versuche ist es gelungen, die Zahl der Schwingungen zu berechnen. Ein leuchtender Körper ist ein solcher, welcher den Aether zu sehr schnellen Schwingungen veranlaßt, und ein durchsichtiger Körper ein solcher, durch welchen die Aetherschwingungen sich fortsetzen. Die Farben entstehen durch die verschiedene Anzahl von Schwingungen in der Secunde; rothes Licht erscheint da, wo Aethertheilchen in der Secunde ungefähr 430 Billionen Schwingungen machen; violettes da, wo sie 740 Billionen Schwingungen in derselben Zeit ausführen. Die Stärke des Lichts hängt ab von der Weite der Schwingungen. Das Licht hat daher große Aehnlichkeit mit dem Schall. **Der Schall** entsteht durch Schwingungen von Körpern, das Licht durch Schwingungen des Aethers; beide verbreiten sich bis zu uns durch Wellenbewegung, der Schall gewöhnlich durch Wellen der Luft, das Licht mit weit größerer Geschwindigkeit durch Aetherwellen. Wie die Höhe der Töne, so ist auch die Farbe des Lichts abhängig von der Zahl der Schwingungen.

Nun werden Lichterscheinungen sehr häufig von Erscheinungen **der Wärme** begleitet. Die strahlende Wärme erleidet eine gleiche Zurückwerfung durch Hohlspiegel und eine gleiche Brechung durch Brenngläser und steht überhaupt unter gleichen Gesetzen, wie das Licht. Daher besteht die strahlende Wärme in Aetherschwingungen; gehen die Wärmestrahlen von dunklen Körpern aus, so ist die Zahl der Aetherschwingungen kleiner, als bei denjenigen Strahlen, welche uns als Licht erscheinen. Erregen wir dadurch Wärme, daß wir zwei Körper an einander reiben, einen Körper stoßen oder zusammendrücken, so versetzen wir die Massentheile oder Moleküle der Körper sammt ihren Aetherhüllen in Schwingungen; die Erwärmung eines Körpers besteht in Schwingungen seines Aethers und seiner Massentheilchen, wobei dieselben sich sammt ihren Schwerpunkten hin und her bewegen. Bei chemischen Vorgängen stoßen die Bestandtheile der sich anziehenden Stoffe mit großer Heftigkeit gegen einander und setzen die Moleküle und ihre Aetherhüllen in Schwingungen. Je länger wir zwei Körper an einander reiben, desto wärmer werden sie, desto schneller werden die Aetherschwingungen; endlich erreichen sie

eine solche Geschwindigkeit, daß sie als Licht erscheinen, und daß die Wärme sich in Licht verwandelt. Treffen dagegen die Sonnenstrahlen einen undurchsichtigen Körper, so wird derselbe erwärmt; das Licht verwandelt sich in Wärme; die überaus schnellen Schwingungen des den Weltraum erfüllenden Aethers gestalten sich in dem undurchsichtigen Körper um zu langsameren Schwingungen seiner Moleküle und ihrer Aetherhüllen. Die Wärmeschwingungen entfernen die Körpertheilchen von einander und bewirken eine Ausdehnung der Körper; sie wirken der Cohäsion entgegen und führen, indem sie dieselbe immer mehr verringern, die Körper aus dem festen Zustand in den flüssigen und aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand über. Die Bestandtheile zusammengesetzter Körper werden nicht selten durch die Wärmeschwingungen so weit von einander entfernt, daß die chemische Anziehung aufhört, und eine chemische Zersetzung eintritt. Bei der Ueberführung eines festen Körpers in den flüssigen Zustand und eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand, desgleichen bei der Zersetzung eines Körpers, vollbringt die Wärme Arbeit innerhalb der Körper, innere Arbeit. Wird durch das in einer Locomotive unterhaltene Feuer ein Eisenbahnzug bewegt, so vollbringt die Wärme äußere Arbeit. Wird der Eisenbahnzug durch Bremsen zum Stillstand gebracht, so erscheinen an den gehemmten Rädern Rauch und Funken; die Bewegung oder Arbeit setzt sich dabei, ähnlich wie beim Reiben, Bohren und Sägen, in Wärme um. Mechanische Arbeit läßt sich daher in Wärme umsetzen, und Wärme läßt sich in Arbeit umsetzen. Die Bewegung der ganzen Körper läßt sich verwandeln in Bewegung ihrer Massentheilchen, und die Bewegung der Moleküle läßt sich verwandeln in Bewegung der ganzen Körper. Und zwar haben wiederholt und sorgfältig angestellte Versuche gelehrt, daß stets einem bestimmten Maß Wärme ein bestimmtes Maß Arbeit entspricht. Man hat die Wärme, durch welche ein Klgr. Wasser um einen Grad des hundertheiligen Thermometers erwärmt wird, eine Wärmeeinheit oder Calorie genannt und gefunden: Durch 425 Meter-Klgr. Arbeit entsteht 1 Wärmeeinheit, und durch 1 Wärmeeinheit entstehen 425 Meter-Klgr. Arbeit. Die Arbeit von 425 Meter-Klgr. heißt das mechanische Aequivalent einer Wärmeeinheit. Wo Arbeit verloren zu gehen scheint, da setzt sie sich in Wärme um, und wo Wärme verloren zu gehen scheint, da setzt sie sich in Arbeit um.

Wärme kann sich in **Elektricität** verwandeln. Wenn die Löthstelle zweier Metalle (§. 231), welche durch einen Schließungsdraht verbunden sind, erwärmt wird, so entstehen in den ungleichen Metallen ungleiche Wärmeschwingungen, sie kommen in dem Draht einander entgegen, und es bilden sich zusammengesetzte Schwingungen der Moleküle und ihres Aethers, welche auf die Magnetnadel einwirken und als Thermo-Elektricität bezeichnet werden. Magnetismus und Elektricität scheinen daher ebenfalls Bewegungen der Moleküle und ihres Aethers zu sein. Und zwar hat man die Vermuthung aufgestellt, es bestehe der **Magnetismus** in einer Ablenkung der Moleküle, bei der sie sich etwas um ihren

Schwerpunkt drehen, und welche ähnlich ist der Ablenkung einer Magnetnadel durch den galvanischen Strom, oder dem Ausschlag eines Wagebalkens. Eine Ablenkung der Massentheilchen nach der einen Seite erscheint als Nordmagnetismus, eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite als Südmagnetismus. Die Elektricität würde bestehen in dieser Ablenkung der Massentheilchen und in Schwingungen zu beiden Seiten der magnetischen Lage; die Elektricität ist positiv bei der Ablenkung nach der einen, sie ist negativ bei der Ablenkung nach der entgegengesetzten Richtung. Wo daher Magnetismus erregt wird, da wird auch Elektricität erregt, und wo Elektricität erregt wird, da wird auch Magnetismus erregt. Bei der Reibungselektricität scheint die Ablenkung der Körpertheile aus ihrer natürlichen Lage eine stärkere zu sein, als bei der Berührungselektricität, so daß jene eine Bewegung kleiner Körper bewirkt. Die elektrischen Schwingungen verwandeln sich in Wärme-Schwingungen, oder die Schwingungen der Moleküle um ihren Schwerpunkt verwandeln sich in Schwingungen der Moleküle sammt ihren Schwerpunkten, wenn Elektricität durch einen dünnen Platindraht strömt, dessen geringe Masse die Schwingungen der ganzen Moleküle begünstigt. Die Wärmeschwingungen des vom elektrischen Strom durchflossenen Drahtes werden immer schneller, bis der Draht leuchtet und den Aether zu Lichtschwingungen veranlaßt. Weil die Elektricität eine Bewegung der Moleküle ist, vermag sie auch die Bestandtheile zusammengesetzter Körper so weit von einander zu entfernen, daß die Anziehung der Bestandtheile überwunden, und die Körper zersetzt werden.

Magnetismus, Elektricität, Licht und Wärme, die man sonst Imponderabilien oder unwägbare Stoffe nannte, sind daher nicht als Stoffe anzusehen, sondern als Bewegungszustände des Aethers und der Körper-Moleküle. Jeder dieser Bewegungszustände verwandelt sich in einen anderen, wenn der ursprünglichen Bewegung Hindernisse entgegen treten, und günstige Bedingungen für einen andern Bewegungszustand vorhanden sind.

Apparate

zur Anstellung der in der „Schule der Physik von Dr. Crüger" angegebenen Versuche.

Nr. I. Einfacher Apparat.

Nr.	Gegenstand	Mark		Pf.
1)	12 Probircylinder (Reagircylinder) von 15 Centimeter Länge; die Hälfte mit passenden Korken versehen	1	Mark	— Pf.
2)	1 enger Probircylinder von 6 Centimeter Länge . .	—	„	8 „
3)	3 Kochflaschen (Stehkolben), zwei zu 125 Gramm Inhalt, die dritte zu 1 Liter, alle mit Korken versehen .	1	„	30 „
4)	1 Opodeldocglas mit Kork	—	„	17 „
5)	1 Glastrichter von 10 Centimeter Durchmesser	—	„	50 „
6)	1 Glastrichter mit langer, gerader Röhre	—	„	50 „
7)	2 kurze Spritzröhren (nach Berzelius)	—	„	15 „
8)	1 Chlorcalciumröhre, 26 Centimeter lang	—	„	25 „
9)	7 Gasleitungsröhren; 2 gerade, 2 zum Auffangen der Gase S-förmig, 1 heberartig gebogen ⌉, 1 ⊓, 1 ⌒	2	„	30 „
10)	2 Capillarröhren, 30 Centimeter lang	—	„	25 „
11)	1 einfache Spirituslampe von Glas mit messingenem Dochthalter	1	„	— „
12)	1 Dreifuß zur Lampe mit Drahtdreiecken	1	„	— „
13)	1 Sandschale, zum Dreifuß passend	—	„	50 „
14)	2 runde Korkfeilen mit Heft	1	„	— „
15)	1 poröse Thonzelle, für galvanische Versuche, 10 Centimeter hoch, 5 Centimeter weit	—	„	50 „
16)	Feinster Platindraht zum Glühen durch Galvanismus	—	„	30 „
17)	24 Meter von 0,6 Mm. dickem, doppelt mit Baumwolle besponnenem Kupferdraht	1	„	—
18)	10 Meter unbesponnenen Kupferdraht, 0,75 Mm. dick .	—	„	50 „
19)	$1/2$ Dutzend Kugeln vom leichtesten Mark	—	„	20 „
	Für Kiste und Verpackung u. s. w.	1	„	50 „
	Summa	14	Mark	— Pf.

Nr. II. Elektrischer Apparat.

1) 1 Elektrophor von Harz nebst hölzernem, mit Stanniol überzogenem Deckel	4	Mark	50	Pf.
2) Eine (Leydener) Verstärkungsflasche	2	"	25	"
3) Ein halbes Dutzend Markkugeln zu elektrischen Versuchen	—	"	20	"
4) Ein kleiner Hufeisenmagnet	—	"	65	"
5) Eine galvanische Zink-Kohlen-Kette nach Bunsen mit massivem Kohlencylinder und messingenen Klemmschrauben	3	"	—	"
6) Feinster Platindraht zum Glühen durch Galvanismus	—	"	30	"
7) 10 Meter unbesponnenen Kupferdraht zu Leitungsdrähten, 0,75 Mm. dick	—	"	50	"
8) Ein Elektromagnet (ein mit 0,6 Mm. dickem Kupferdraht bewickelter weicher Eisenkern, 2,5 Centimeter stark, von 9 Centimeter Schenkellänge, mit 3 Lagen Windungen	2	"	50	"
9) Der Anker dazu	—	"	50	"
10) Eine kleine Klemmschraube für Drähte	—	"	60	"
Kiste mit Charnieren und Verpackung u. s. w.	1	"	50	"
Summa	16	Mark	50	Pf.

Das gegenseitige Verhältniß dieser beiden Zusammenstellungen von Apparaten ist folgendes. Der einfache Gesammtapparat Nr. I. enthält die wichtigsten Geräthschaften, die man zur Anstellung der in der „Schule der Physik" angegebenen Versuche nöthig hat, und ist ausreichend, falls man die Mühe nicht scheut, nach der gegebenen Anweisung die Vorrichtungen für elektrische, galvanische und andere Experimente theils selber anzufertigen, theils durch Handwerker anfertigen zu lassen. Weil aber gerade elektrische Versuche großes Interesse haben, und Manchem daran liegen dürfte, zunächst elektrische, galvanische und elektromagnetische Experimente anzustellen, so sind die dazu nöthigen Vorrichtungen in dem elektrischen Apparat Nr. II. fertig zusammengestellt und so angefertigt, daß man ohne Weiteres damit ans Experimentiren gehen kann. Jeder der beiden Apparate ist einzeln zu haben, und zwar der einfache Apparat zu 14 Mark, der elektrische Apparat zu 16½ Mark.

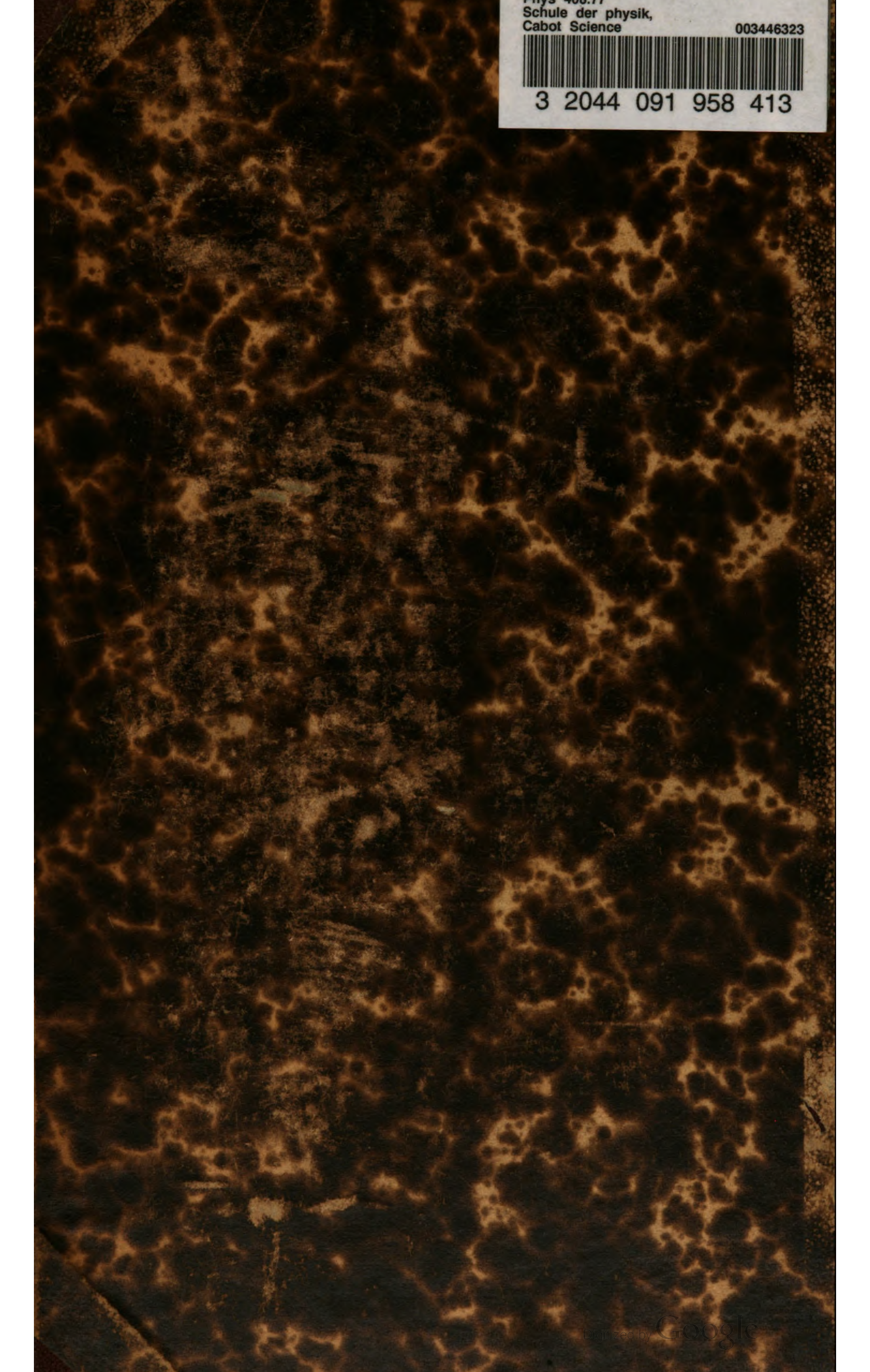
Nr. III. Preisverzeichniß verschiedener Vorrichtungen und Geräthschaften.

Amalgam, Kienmayrsches, für die Elektrisirmaschine, 25 Gramm	—	Mark	50	Pf.
Aräometer für leichte Flüssigkeiten . . . 1,75 Mark bis	3	"	—	"
Barometer	9	"	—	"
Bechergläser, dünnwandig, 10 Cm. hoch, das Stück	—	"	30	"
Cartesianischer Taucher in einem Glascylinder	—	"	60	"
Communicirende Röhren . . . . 75 Pf. bis	2	"	50	"
Compaß	3	"	—	"
Compressionsfeuerzeug aus Messing	4	"	—	"
Druckpumpe, Modell, ganz aus Glas	3	"	—	"
Feuerspritze, desgl., mit 2 Stiefeln	4	"	—	"
Flaschenzug mit 6 Rollen über einander	12	"	—	"
Galvanoplastischer Apparat, bestehend aus Glas, Thonzelle, Zink und Kupfer	4	"	50	"
Gasentwicklungsflasche, vollständig, mit Trichterröhre, Leitungsrohr, Gummiverbindung und Röhre zum Auffangen	1	"	25	"

Geißlersche Röhre		3	Mark	— Pf.
Glasprisma	1,5 Mark bis	2	„	—
Glasspritze (Injectionsspritze mit kurzer Spitze)		—	„	30
Glasstab, der durch Reiben stark elektrisch wird		1	„	—
Heronsball aus Glas	60 Pf. bis	1	„	—
Hohlspiegel aus Glas		9	„	—
Inductionsapparat (ohne Element)		18	„	—
Kugel aus Metall mit genau passendem Ringe, zur Lehre von der Ausdehnung durch die Wärme		4	„	25
Kupferschale zum Leidenfrostschen Versuch		1	„	25
Linse, biconvex, zu optischen Versuchen		1	„	25
Linse, biconcav, desgl.		1	„	25
Loupe (Uhrmacherloupe mit 3 Füßen)		3	„	—
Luftballon, kleiner, von Collodium	80 Pf. bis	1	„	—
Magnetnadel (Stativ dazu mit Tragspitze 1 bis 2 M.)	2 M. bis	3	„	—
Mattgeschliffene Glasplatte zu optischen Versuchen, 78 Mm. Durchmesser		—	„	75
Percussionsmaschine mit steinernen Kugeln	9 M. bis	15	„	—
Pistole, elektrische	5 M. bis	6	„	—
Pneumatische Wanne aus lackirtem Blech		4	„	75
Pulshammer, mit 2 Kugeln	1 M. bis	2	„	—
Reibschale (Mörser) aus Porzellan mit Pistill, zur Zerkleinerung des Kienmayrschen Amalgams		—	„	70
Retortenhalter		2	„	50
Saugheber aus Glas		—	„	5
Saugpumpe, Modell, ganz aus Glas		3	„	—
Scheibe aus Glas zur Elektrisirmaschine, in der Mitte durchbohrt, Durchmesser 36,5 Cm. zu 6 Mark; Durchmesser 47 Cm. zu 8 bis		10	„	—
Segners Wasserrad, aus Zinkblech		9	„	—
Sichel, elektrische, mit Tragspitze		3	„	—
Sirenenscheibe, den Dur-Dreiklang angebend		4	„	50
Sprachrohr aus lackirtem Blech	3 M. bis	9	„	—
Stanniol, das Blatt		—	„	25
Stechheber (Pipette) aus Glas		—	„	50
Stimmgabel, nach der Größe	1,5 M. bis	6	„	—
Thermometer (Badethermometer)		2	„	—
Wage, gleicharmige (Handwage, 26—29 Cm. Balkenlänge)		9	„	—

Zu beziehen sind der einfache Apparat Nr. I., der elektrische Apparat Nr. und die einzelnen unter Nr. III. aufgeführten Vorrichtungen und Geräthschaften von dem Lager chemischer und physikalischer Geräthschaften von Luhme und Comp. in Berlin (Kurstraße 51), dem Techniker und Physiker Herrn Grüel zu Berlin (Gr. Friedrichsstraße 206), aus der Lehrmittel-Anstalt von Bischof in Berlin, von dem Mechanikus Herrn Rennecke zu Erfurt, Herrn August Dre... in München; ferner vom Herrn Optiker und Mechaniker A. Krüß zu Hamburg (Adolphsbrücke Nr. 7); Herrn Optikus und Mechanikus O. Möwig zu Königsberg i. Pr. (Französische Str. 20); der Letztere liefert auch Dampfmaschinenmodelle mit oscillirenden Cylindern, und zwar Locomotiven mit Spiritusheizung für $10^1/_2$ Mark, Locomobilen zu 15 Mark; ferner Modelle der Watt'schen Dampfmaschine mit feststehendem Dampfcylinder, Balancier und beweglichem Dampfschieber, mit Spiritus zu heizen, zum Preise von 24 Mark.

Register.


Schule der physik,
Cabot Science
003446323
3 2044 091 958 413